

**Bescheinigung**

Herr Friedhelm Bierwirth in Gladbeck/  
Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Erdbebensicherung durch schwingungsentkoppelte Lagerung von Gebäuden und Objekten über virtuelle Pendel mit langer Periodendauer"

am 13. August 1997 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig die Symbole E 04 B und E 04 H der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

**PRIORITY DOCUMENT**

München, den 3. August 1998

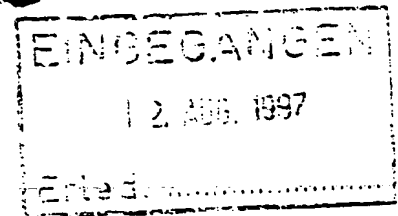
Der Präsident des Deutschen Patentamts

Im Auftrag

Keller

Aktenzeichen: 197 34 993.5

# Patentanmeldung



Anmelder: Friedhelm Bierwirth

Tilsiter Straße 23  
D-45964 Gladbeck

Telefon + 49 (0) 2043 / 26886

Telefax + 49 (0) 2043 / 26862

Vertreter: Ackmann & Menges Patentanwälte  
Postfach 14 04 31, D-80454 München

Telefon + 49 (0) 89 / 202539-0

Telefax + 49 (0) 89 / 202539-20

Erfinder: Friedhelm Bierwirth

## Erdbebensicherung durch schwingungsentkoppelte Lagerung von Gebäuden und Objekten über virtuelle Pendel mit langer Periodendauer

### Bezogene Schriften:

US-Patent 1,761,321, Foundation Construction	03.06.1930, Don W. Wells
US-Patent 1,761,322, Foundation Construction	03.06.1930, Don W. Wells
US-Patent 2,035,009, Chockabsorbing Device	24.03.1936, Frank L. Rager
US-Patent 4,328,648, Support System	11.05.1982, Alexandrs K. Kalpins

### Zusammenfassung

Anwendungsbereich der Erfindung

Hintergrund

Stand der Technik

Ziel der Aufgabenlösung

Übersicht der Erfindung

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Beschreibung von zweckmäßigen Ausführungen

Patentansprüche

Zeichnungen

# Erdbebensicherung durch schwingungsentkoppelte Lagerung von Gebäuden und Objekten über virtuelle Pendel mit langer Periodendauer

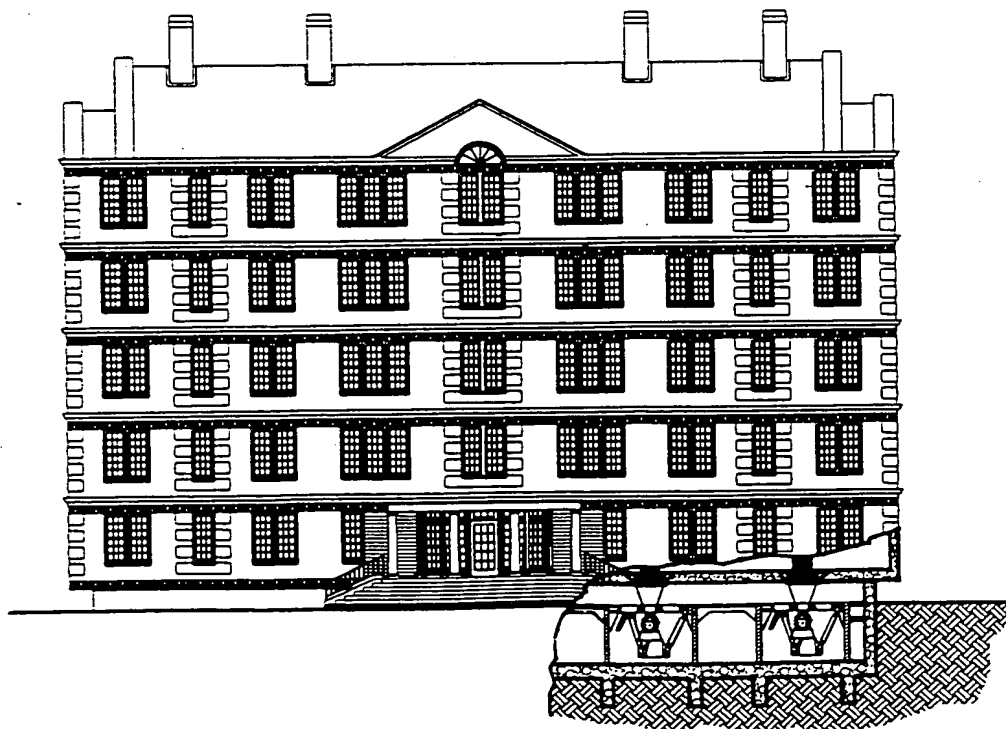
## 5 Zusammenfassung

Es werden ein Verfahren und zwei Vorrichtungen mit Anwendung des Verfahrens beschrieben zur schwingungsentkoppelten Lagerung von empfindlichen Objekten, Geräten, Bauwerken, wie Türmen, Brücken, Industrie-, Chemie- und Nuklear-Anlagen mittels virtueller Pendel, deren Periodendauer der Eigenschwingung wesentlich länger ist als die der üblichen Erdbebenschwingungen, so daß horizontale Schwingungen der Basis durch Erdbeben nicht auf das Bauwerk übertragen werden.

Die Übertragung vertikaler Schwingungen der Basis auf den Baukörper kann durch integrierte vertikale Federung mit sehr flacher Kennung, vorzugsweise mittels hydropneumatischer Federungselemente weitgehend getilgt und durch Dämpfungselemente unterdrückt werden.

Die Zentrierung des Objekts in der mittleren Ruhelage erfolgt über mindestens zwei Haltevorrichtungen, die eine Rückhaltekraft entsprechend den stärksten auf das Objekt einwirkenden Windkräften bereitstellen und bei größeren Horizontalkräften, wie sie bei Erdbeben auftreten, das Objekt zur ungestörten horizontalen Bewegungsmöglichkeit gegenüber der Basis freigeben.

13 Ansprüche, 28 Zeichnungen



## Anwendungsbereich der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und entsprechende Vorrichtungen zur Schadensverhinderung an Gebäuden und anderen Strukturen im Falle von Bodenbewegungen mit Gefährdungspotential wie bei Erdbeben.

Außerdem kann das Gebäude oder Objekt bei Luftkräften, welche die Staudrücke stärkster Winde übersteigen, wie sie durch Explosionen in der Nähe eines Gebäudes hervorgerufen werden können, in jeder Richtung ausweichen und somit die Luftkraft-Momente verringern.

Die Erfindung stellt ein erdbebenunempfindliches Tragsystem dar zur Lagerung und Stützung von Strukturen aller Art wie Gebäude, Brücken, Türme, Industrie- und Nuklear-Anlagen oder sonstiger Objekte, das zwischen Fundament und getragener Struktur angeordnet ist und verhindert, daß diese den wechselnden horizontalen Erdbebenbewegungen und Beschleunigungen und den daraus hervorgerufenen Kräften aus der Dynamik der schwingenden Bewegung ausgesetzt wird, um sie so vor den zerstörerischen Einwirkungen durch Erdbeben zu schützen.

Das zur Anwendung gelangende Verfahren bewirkt, daß die Periode der Eigenschwingung so verlängert wird, daß die damit verbundene Bewegungsträgheit dazu führt, daß das Objekt der oszillierenden Erdbebenbewegung der Basis nicht mehr folgen kann. Der Schutz der Objekte ist hierbei so weitgehend, daß die zu schützenden Gebäude oder Anlagen in Ruhelage bleiben, selbst bei Beben größter Magnitude.

Somit wird das Objekt gegenüber der horizontalen Bewegung des Bodens vollständig isoliert, es handelt sich also um eine wirkungsvolle Basis-Isolation durch Abstützung über virtuelle Pendel langer Periodendauer.

Die Auslegungsparameter sind in weiten Grenzen wählbar. Hierdurch kann der Unterschied zwischen der Frequenz der Eigenschwingung des Systems und den Frequenzen üblicher Erdbebenschwingung so groß gewählt werden, daß die Schwingssysteme des Gebäudes und der Basis weitestgehend entkoppelt werden, so daß die getragene Struktur in Ruhelage verbleibt.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung werden keine Energien umgeleitet, umgewandelt oder absorbiert, sondern es wird keine Bewegungsenergie in den Baukörper übertragen.

Da dem Baukörper keine schnell wechselnden Bewegungen aufgezwungen werden, werden auch keine aus Beschleunigungen hervorgerufenen Massenkräfte wirksam, Erdbebenschäden werden verhütet.

Aus diesem Grund werden auch keine erdbebenbedingten konstruktiven Verstärkungsmaßnahmen für die Gebäudestruktur notwendig, wie sie für Standard-Bauweisen durch Bauvorschriften zum Erdbebenschutz gefordert werden.

Besonders bei der Errichtung von sicherheitssensitiven Anlagen, bei denen Zerstörungen zu weitergehenden Folgeschäden führen können, wie bei kerntechnischen Einrichtungen und

Chemieanlagen mit gefährlichen Stoffen hat die Sicherung gegen Erdbebenschäden eine besonders wichtige Bedeutung.

Der so weitgehende Schutz wäre auch besonders nützlich bei Krankenhäusern, die im Katastrophenfall auch während der Nachbeben ungestört in Funktion bleiben könnten, wenn bereits Katastrophenopfer zu versorgen sind.

## Hintergrund

### Schnell wechselnde dynamische Erdbebenkräfte

Bei Erdbeben treten horizontale und vertikale Bodenschwingungen auf. Gebäudekörper, die über konventionelle Fundamente mit dem Boden verbunden sind, werden durch die Bewegung der Fundamente in Schwingung versetzt.

Die träge Masse des Baukörpers, die im Schwerpunkt des Baukörpers wirksam wird, setzt der erdbebenbedingten Bewegung des Fundaments einen Widerstand entgegen.

Proportional zu den Beschleunigungen während der Fundamentschwingungen entstehen Schubkräfte hauptsächlich im unteren Gebäudekörper bei fest mit dem Fundament verbundenen und im festen Untergrund verankerten Gebäuden. Die Größe dieser Basis-Scherung ist der Haupteinfluß bei Zerstörungen durch Erdbeben.

In der Praxis hat sich gezeigt, daß besonders die horizontale Bewegung des Bodens und die dabei auftretenden Beschleunigungen, die auf die Gebäudemasse übertragen werden, gefährdende Schubkräfte und Spannungen im Baukörper hervorrufen, die das Gebäude zerstören können.

Häufig wird das bodennahe Stockwerk durch Scherung zerstört, während darüber befindliche Stockwerke weitgehend unbeschädigt bleiben und allenfalls als Folge durch Kippen des Gebäudes oder Herabfallen des oberen Gebäudeteils Beschädigungen erfahren.

Anders sind die Erdbebenauswirkungen bei Gebäudegründungen auf weicherem Untergrund wie auf trockengelegtem ehemaligem Feuchtgrund wie Moor oder Schwemmland.

Hier sind tiefergehende Pfahlgründungen notwendig, welche die Schwingungen des Untergrundes erst auf die darüber befindliche Gebäudestruktur übertragen. Spitzenwerte der horizontalen Beschleunigungen werden bereits im Fundamentbereich in der tiefreichenden Einbettung in das umgebende weichere Erdreich gedämpft und gemindert. Die Impulse an der Bodenoberfläche haben nicht mehr die ursprüngliche Härte, dagegen können die Bewegungsamplituden durch die weiche Lagerung verstärkt auftreten. Bei möglichem Schwenken der Hochachse des Gebäudes durch den weichen Untergrund erhalten die oberen Bereiche des Gebäudes größere Schwingweiten als der Boden. In solchen Fällen setzen die primären Zerstörungen im oberen Bereich des Gebäudes ein.

Die bei Erdbeben auftretenden vertikalen Beschleunigungen haben ohnehin gegenüber den horizontalen Beschleunigungen eine geringere Größe und werden im allgemeinen von den tragenden Strukturen eines Bauwerks ohne Gefährdung ertragen, da die

Gebäudeauslegung in Hinblick auf die vertikalen Lasten grundsätzlich mit einem statischen Lastvielfachen als Sicherheitsfaktor erfolgt.

Der Schwerpunkt eines Baukörpers liegt durchweg oberhalb seiner Grundfläche. Die Bewegung der Basis muß also auf den Schwerpunkt des Gebäudes übertragen werden. Die durch den Baukörper zu leitende Kraft in Form von Schub ist die Reaktion der Trägheit der Masse in der Größe des Produkts aus Masse und der auf die Masse einwirkenden Beschleunigung.

Abhängig von dem zur Anwendung gelangten Baustoff werden bei irgendeiner Größe der auftretenden Beschleunigung die Grenzwerte der Festigkeit der Struktur erreicht und überschritten werden.

Deswegen ist bei einer üblichen starr mit der Basis verbundenen Gebäudestruktur keine wirkliche Erdbebensicherheit erreichbar.

Bei irgendeiner Erdbebenstärke und der damit verbundenen Beschleunigung wird jede Gebäudestruktur, die über Fundamente fest mit der Basis verbunden ist oder nur geringe Verschiebbarkeit gegenüber der Basis zuläßt, versagen müssen.

Bewertung der konventionellen Methoden, Sicherheit gegen Erdbeben zu erreichen

Die Gebäude-Konstruktionsrichtlinien in erdbebengefährdeten Regionen berücksichtigen in der Regel eine festgelegte geringere Erdbebenstärke, wie sie aus statistischen Betrachtungen in häufigeren Vorkommnissen wahrscheinlich ist, und bestimmen danach die Auslegung für die notwendige Festigkeit der Gebäudestrukturen.

Hierbei werden zunehmend besonders Möglichkeiten berücksichtigt, die darauf abzielen, in bestimmten Bereichen der Gebäudestruktur Elastizitäten vorzusehen, wodurch bei elastischen Verformungen der Gebäudetragstruktur die Kräfte, die durch die Struktur zu übertragen sind, örtlich gemindert werden können, dadurch daß die darüber befindlichen Masseanteile des Gebäudes durch die elastischen Verformungen gegenüber der einleitenden Bewegung zurückbleiben und hierdurch die Spitzenwerte der Beschleunigungen reduziert werden.

Bei Erdbeben, deren Auswirkungen die den Bauvorschriften zugrundeliegenden Bedingungen überschreiten, wird deshalb Zerstörung und Gefährdung auftreten, wie Erdbeben-vorkommnisse der letzten Zeit deutlich gezeigt haben.

Man muß somit feststellen, daß die Methoden der erdbebensicheren Auslegung der Gebäude durch entsprechende Berechnung und Dimensionierung bei stärkeren Beben unzureichend sind.

Nach den Erdbebensicherheits-Bauvorschriften werden sogenannte Referenzbeben definiert, für die nach den Methoden der Auslegungsberechnung eine Sicherheit für die zugrundegelegten Lastfälle nachgewiesen werden muß.

Die hierbei zu treffenden Annahmen bezüglich des Gebäudeverhaltens und der Struktur-Elastizitäten haben einen hohen Grad an Unsicherheit.

5 Die diesen Referenzbeben zugrundeliegenden Beschleunigungen werden bei realen Beben häufig überschritten, mitunter auch erheblich.

Eine Auslegung auf solche Extremfälle wäre ohnehin technisch nicht durchführbar. Bei Extrembeben versagen alle konventionell gestalteten Strukturen.

10 Die bisherige Meinung der Fachwelt, daß die zerstörerischen Einflüsse der Erdbodenbewegungen und der hierdurch einwirkenden Kräfte auf ein Bauwerk durch eine äußerst feste Konstruktion oder durch Anwendung von elastischen und schwingungsdämpfenden Gliedern ausgeschaltet werden können, hat sich augenscheinlich nicht bestätigt.

Auch die Vorstellung, daß durch Reibung bzw. Dämpfung ein schädlicher Einfluß aus der Erdbodenbewegung gemindert werden kann, erscheint aussichtslos.

15 Von der Energie, die durch die Erdbodenbewegung in das Gebäude transferiert wird, kann der Anteil, welcher der Zerstörungsarbeit durch Wegführen, oder richtiger ausgedrückt, durch Umwandlung in Wärme z. B. durch Dämpfung entzogen werden könnte, nur bei einem relativ geringen Prozentsatz bleiben.

Bei starken Beben kann eine angewendete Dämpfungsreibung die zerstörerische Wirkung eines Erdbebens nicht verhindern.

20 Die Berechnungsmethoden nach den gesetzlichen Baunormen gehen von stark vereinfachten Lastfall-Modellen aus. Diese vereinfachten Verfahren liefern auch ungenügende Genauigkeit der Resultate. Es ist auch nicht möglich, durch Analyse herauszufinden, welches Bauteil als erstes versagen wird und damit ein Einstürzen des Gebäudes einleitet. Diese Auslegungsberechnungsmethoden für Gebäude können allenfalls  
25 dazu dienen, daß in jeweiligen Regionen regelmäßig wiederkehrende schwache Erdbeben von den Gebäuden ohne gefährdende Schädigungen ertragen werden.

Bei einem Erdbeben, bei dem die in den Bauvorschriften vorgesehenen Werte überschritten werden, ist Zerstörung und Gefahr für Menschenleben zu erwarten. Die Schlußfolgerung daraus ist, daß diese Methoden unzureichend sind, wirklich erdbebensichere  
30 Gebäude zu erstellen.

## Stand der Technik

### Fundament-Isolation der Gebäudestruktur

35 Das Bemühen, die Erdbebensicherheit für Gebäude zu erhöhen, hat zu einer großen Zahl von neuen Lösungen geführt, die ihren Niederschlag finden in den Patent-Veröffentlichungen.

Unter den technischen Lösungen zur Sicherung von Gebäuden gegen Erdbebenschäden sind Einrichtungen bekannt, die zusätzlich zur üblichen Strukturauslegung und Bemessung

nach Regelwerken zur Anwendung kommen, die das Gebäude vom Fundament trennen und über bewegliche Auflager verbinden oder über Glieder mit Gelenken stützen.

5 Diese Gruppe der technischen Lösungen, die zum Bereich Basis-Isolation gehören, hat eine besondere Bedeutung.

Die Fundament-Isolation der Gebäudestruktur ermöglicht dem Baukörper gegenüber der Basis eine Beweglichkeit in gewissen Grenzen.

10 Bei einer Art der Fundament-Isolation wird der Baukörper auf Blöcken gelagert, die aus horizontal geschichteten Lamellen aus wechselweise Stahl und Kautschuk bestehen.

Diese Blöcke haben vertikal eine hohe Lastaufnahmefähigkeit, gewährleisten dennoch horizontal eine Verschiebbarkeit der oberen gegenüber der unteren Platte des Isolationsblocks.

Diese Blöcke haben horizontal einen begrenzten Hub der Beweglichkeit.

15 Mit zunehmender Verschiebung aus der Mittellage erfolgt eine zunehmende Versteifung der Blöcke also eine Zunahme der Verschiebekraft.

Bei Lagerung von Gebäuden auf solchen horizontal elastischen Blöcken werden die Spitzenwerte der Beschleunigungen gemindert durch Federung und Dämpfung. Die Übertragung der Bewegung des Bodens auf das Gebäude erfolgt dennoch in einem bestimmten Ausmaß.

20 Bei großen Schwingamplituden des Bodens können die übertragenen Bewegungen auf den Baukörper erheblich sein, und die Bewegungen des Gebäudes in oberen Bereichen können durch eine Art Peitscheneffekt verstärkt werden.

25 Bei einer anderen Art von Fundament-Isolation wird der Baukörper auf der Basis über rollende oder gleitende Körper gestützt, die sich zwischen zwei konkaven Platten oder einer ebenen Platte und einer konkaven Platte bewegen können, so daß dieser Stützpunkt des Gebäudes auf der oberen Platte sich bewegt wie an einem Pendel aufgehängt.

30 Bei der Abstützung über Rollkörper ergeben sich Probleme im Hinblick auf die damit verbundenen hohen Pressungen an den Berührungsflächen. Hierdurch werden besondere Anforderungen an die Materialien und die Oberflächen der beteiligten Teile gestellt. Außerdem können bei dieser Art der Abstützung keine negativen Kräfte übertragen werden.

35 Es können auch zwischen ebenen Platten Stützkörper angeordnet sein, deren Krümmungsradius an den Berührungsflächen zu den Platten größer ist als die Höhe des Körpers.

Hierdurch wird die obere Platte, ein Stützpunkt des Getragenen beim pendelnden Abrollen des Stützkörpers angehoben und es entsteht auch ein Bewegungsverhalten des Stützpunktes wie an einem Pendel hängend.

40 Bei einer weiteren Art der Fundament-Isolation werden Stützpunkte der Gebäudestruktur an Pendeln aufgehängt.



Durch die Pendelgeometrie ist das Bewegungsverhalten des Systems bestimmt. Die Abmessung der Pendel bestimmt die Periodendauer der Eigenschwingung. Der Grad der Verschiedenheit der Eigenschwingung von der Schwingung des Bodens bestimmt das Bewegungsverhalten der an Pendeln aufgehängten Masse des Baukörpers.

Wird ein Gegenstand oder ein Baukörper an Pendeln aufgehängt wie in den Beispielen nach FIG.2, FIG.3 oder FIG.4, so hat dieser ein eigendynamisches Bewegungsverhalten wie ein mathematisches Pendel. Die Masse des Gebäudekörpers oder des Objekts 1 wird anteilig entsprechend der Massenverteilung auf die verschiedenen Stützpunkte im unteren Gelenkpunkt 3 des Pendels 2 durch die Erdgravitation und evtl. eine zusätzliche Beschleunigung als Kraft wirksam. Die Pendel 2 werden an einem oberen Gelenkpunkt 4 von einer adäquat ausgestalteten Tragstruktur 5 getragen. Die Gelenke 3 und 4 sind entweder Kugelgelenke oder Kardangelenke und erlauben dem Pendel Schwenkbewegungen in zwei Achsen, relativ zur Last tragenden Aufhängung und relativ zum getragenen Objekt oder Gebäude. Das Bewegungsverhalten der gezeigten Beispiele läßt sich reduzieren auf das Modell des mathematischen Pendels.

Bei allen zitierten Lösungen handelt es sich um schwingungsfähige Systeme, deren Eigenschwingungen in der Nähe von Erdbeben-Anregungsschwingungen liegen. Bei maximal auftretenden Amplituden der Erdbebenschwingung ist ein Resonanzfall im Erdbeben-Frequenzbereich nicht ausschließbar, wobei zusätzliche Probleme entstehen, die Gefährdungen des Gebäudes hervorrufen können.

Macht das Gebäudesystem in der Nähe der Resonanzschwingung zur Erdbeben-Schwingung noch zusätzlich Kippbewegungen zur Hochachse des Gebäudes, so erfahren die dem Erdboden weiter entfernt liegenden Gebäudeteile eine Zunahme der Beschleunigung und der daraus resultierenden Belastungskräfte.

Mit hochelastischen Isolatoren zwischen dem Gebäudeoberteil und seinem Fundament und einer damit verbundenen horizontal weichen Lagerung des Baukörpers lassen sich bei stärksten Erschütterungen mit dieser Anordnung dennoch keine vollkommen zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen, wenn die Frequenzentkopplung nicht weitreichend genug ist.

Die mögliche Nähe der Resonanzschwingung zu möglicher Schwingung des Erdbeben-Antwortspektrums lassen große Amplitudenverstärkungen in oberen Gebäudeteilen aufkommen. Den bekannt gewordenen Lösungen der Fundament-Isolation ist durchweg eigen, daß ihre Eigenschwingfrequenz nahe bei den Erdbebenfrequenzen liegt.

Hierdurch ist es möglich, daß die von solchen Vorrichtungen getragenen Baukörper mit der entsprechenden Frequenz in verstärktes Schwingen geraten.

Bei solchen Vorgängen sind auch noch Gebäudeschäden möglich, und die Gefahr bleibt bestehen, daß Teile innerhalb des Gebäudes, die üblicherweise beweglich sind, hin und her geschleudert werden und damit auch Schäden und auch Gefährdungen von Personen herbeiführen können.

**FIG.5** Die Masse 1 wirkt wie eine Punktmasse am unteren Ende des Pendels. Wird die am unteren Ende des Pendels angreifende Masse 1 um einen Betrag  $e$  aus ihrer statischen Ruhelage verschoben, so erfährt sie gleichzeitig eine Anhebung um den Betrag  $h$ , weil das Pendel 2 mit der Länge  $l$  mit dem unteren Pendelende 3 einen Kreis um den oberen Aufhängepunkt 4 mit dem Radius  $r = l$  beschreibt. Da die Bewegungen in jeder Richtung zweiachsig erfolgen können, beschreibt das untere Pendelende, der Aufhängepunkt der Masse eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche.

Die Anhebung der Masse 1 um den Betrag  $h$  führt dazu, daß die Masse eine höhere potentielle Energie erhält. Bei Verschwinden der Krafteinwirkung, die zur Auslenkung der Masse 1 um den Betrag  $e$  und zur Anhebung der Masse um den Betrag  $h$  geführt hat, bewirken die Zugkraft im Pendel  $Z$  und die Kraft aus der Erdgravitation und der Masse ( $m \cdot g$ ) eine resultierende Rückstellkraft  $R$ , welche die Masse am Pendelende 3 in die mittlere Ruhelage zurückführt. Hierbei überschwingt die Masse 3 die Ruhelage und durch Reibungsdämpfung kommt das Schwingen zum Stillstand.

Die gleichen Relationen treten auf, wenn nicht die Masse aus ihrer Ruhelage bewegt wird, sondern auch, wenn der obere Aufhängepunkt des Pendels 4 über die Tragstruktur 5 durch seitliches Bewegen der Basis 6 verschoben wird. Hierdurch erfährt das Pendel zunächst eine Schrägstellung durch Zurückbleiben der aufgehängten Masse aufgrund der Trägheit, und die Masse wird hierbei angehoben. Die dann einsetzende Bewegung der Masse erfolgt nach dem Schwingverhalten des Pendels.

Hierbei ist die Kreisfrequenz der Schwingung

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (1)$$

$g$  ..... Gravitationsbeschleunigung

$l$  ..... Länge des Pendels

Das Schwingverhalten des Pendels ist also ausschließlich durch die Pendellänge bestimmt.

Die Pendelfrequenz ist

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{g}{l}}}{2\pi} \quad (2)$$

Die Schwingungszeit beträgt

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l}}} \quad (3)$$

Eine große Pendellänge bedeutet also eine geringe Pendel-Schwingfrequenz und eine lange Periodendauer einer Schwingung.

5 Sind die Schwingfrequenz des Pendels und die Schwingfrequenz der Basis sehr verschieden, so werden die Bewegungen voneinander weitgehend entkoppelt.

10 Wird z. B. der obere Aufhängepunkt des Pendels durch eine horizontale Schwingung der Basis im Falle eines Erdbebens mit einer Frequenz üblicherweise zwischen 0,5 Hz und 2 Hz bewegt und hat das Pendel bei einer großen Länge eine sehr niedrige Eigenfrequenz gegenüber der Erregungsfrequenz, so vermag die Masse des Objekts der Bewegung der Basis nicht mehr zu folgen, sie verbleibt nahezu auf der Stelle. Wenn die Masse sich mit sehr geringer Geschwindigkeit bei einer langen Periodendauer der eigenen Schwingung in Bewegung setzt, erfolgt bereits mit wesentlich höherer Frequenz eine Deplacierung des Aufhängepunkts des Pendels in der entgegengesetzten Richtung bevor sich der Massepunkt wesentlich von seiner ursprünglichen Lage entfernt hat. Diese Umkehrung vollzieht sich bei 15 anhaltender Schwingung im ständigen Wechsel, so daß die Masse nahezu auf derselben Stelle verbleibt.

Um die gewünschte Entkopplung zu erreichen, werden große Pendellängen erforderlich.

20 Der Realisierung besonders großer Pendellängen stehen jedoch praktische Gesichtspunkte entgegen.

Das bis hier betrachtete Pendel, welches an seinem oberen Ende gelenkig aufgehängt ist, stellt ein **stabiles Tragelement** dar, da es eine stabile Lage oder Ruhelage mit tiefster Schwerpunktlage der getragenen Masse selbsttätig durch die Gravitations-Beschleunigung anstrebt.

25

Ein Pendel, welches am unteren Ende gelenkig gelagert ist und an seinem oberen Ende eine Masse trägt, stellt dagegen ein **instabiles Tragelement** dar.

## Ziel der Aufgabenlösung

30 Notwendigkeit der Verbesserung des Erbebenschutzes

Die umfangreichen Zerstörungen durch Erdbeben weltweit auch in jüngster Zeit, die materiellen Schäden und nicht zuletzt die Opfer an Menschenleben machen deutlich, daß es Ziel sein muß, eine Verbesserung des Erdbebenschutzes zu erreichen.

35 Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, das Gebäude oder das Objekt so weitgehend von der Bewegung des Bodens zu isolieren, daß unabhängig von der Stärke eines Erdbebens keine Kräfte mit zerstörerischer Wirkung auf das Gebäude übertragen werden können. Mit der dargelegten Methode ist es erfindungsgemäß jedoch möglich, bei entsprechender Wahl der Auslegungsparameter ein Verhalten des so gestützten Objekts zu erzielen, daß es

nahezu in Ruhelage verbleibt, auch wenn der Boden mit großen Amplituden und hohen Beschleunigungen sich bewegt.

- 5           **Mathematische Betrachtungen und einfache Modellversuche stellen dies bereits unter Beweis.**

### Das zu lösende Problem

10           Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Erdbebensicherung zu schaffen, die eine Resonanzfreiheit des Gebäudes bei Bodenschwingungen durch Erdbebenbewegungen gewährleistet, wobei die horizontalen Beschleunigungs- und Stoßkräfte aus der Bewegung des Bodens nicht mehr auf den Gebäudekörper übertragen werden. Dies stellt damit einen integralen Erdbebenschutz sicher, der auch bei stärksten horizontalen Bodenschwingungen den Baukörper oder das zu schützende Objekt nicht

15           gefährdet.

Die Wirksamkeit ist mathematisch transparent nachweisbar.

Auch kann der integrale Schutz durch Experiment in einfacher Weise, zuverlässig und wirtschaftlich demonstriert werden.

20           Die Wirksamkeit der Erfindung konnte bereits durch Modell-Simulation mit Beschleunigungen bis 1,2 g demonstriert werden.

Sind die Frequenzen der Erdbebenschwungung und die des Eigenschwingverhaltens der getragenen Struktur verschieden um den Faktor 20 und höher, so ist nicht mehr zu erwarten, daß die wesentlich höherfrequente Anregung durch den Boden ein Schwingen des Getragenen herbeiführt. Im übrigen wäre ein Schwingen der getragenen Struktur mit einer

25           Periodendauer von 20 Sek. und länger nicht mehr bedeutsam in Hinblick auf eine Gefährdung der Struktur. Ein solch träges Verhalten und die hiermit verbundenen geringen Beschleunigungen sind nicht mehr physisch wahrnehmbar.

30           Bei der vorliegenden Erfindung wird die physikalisch vorhandene Reibung an den Lagerstellen der Strukturelemente der konstruktiven Lösung, bedingt durch den prinzipiellen Aufbau der Problemlösung nur stark reduziert wirksam bei der effektiven Reibung, die als Verschiebewiderstand der bewegten Masse in Erscheinung tritt.

Es stellt sich ein extrem niedriger effektiver Reibungskoeffizient ein. Hierdurch werden somit auch durch Reibung keine nennenswerten Beschleunigungskräfte von der Basis auf

35           den getragenen Baukörper übertragen. Das Gebäude hat demzufolge somit auch eine leichte Verschiebbarkeit gegenüber der Basis. Windkräfte können das getragene Objekt aus seiner Mittellage des Bewegungsbereichs verschieben und damit in einer Richtung bei Auftreten von Basisverschiebung bei Erdbeben den verfügbaren Schwingausschlag relativ zur Basis verkürzen.

In keinem Fall darf durch diesen Einfluß der mögliche Schwingausschlag kleiner werden als die eventuelle Schwingamplitude des eines Erdbebens oder gar zu Null werden.

Es ist also notwendig, zur primären Aufgabe, das zu schützende Objekt von den Bodenbewegungen isoliert zu tragen, zusätzlich in die Gesamtlösung Elemente zu integrieren, welche die zentrierte Ausgangslage bei Einsetzen von Erdbebenschwingungen sicherstellen.

## Übersicht der Erfindung

Diese so definierte Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Baukörper oder das zu schützende Objekt auf Tragkonstruktionen, die hier **Erdbebenschutz-Module** genannt werden, gelagert ist, die mit dem Boden über ein durchgehendes gemeinsames Fundament oder auch über jeweils einzelne Fundamentgründungen für das einzelne Erdbebenschutz-Modul fest mit dem Boden verbunden sind. Die Erdbebenschutz-Module tragen den Baukörper und ermöglichen ihm an den Stützpunkten auf den Erdbebenschutz-Modulen ein räumliches Bewegungsverhalten in einer Weise, die etwa einer solchen Bewegungsform gleicht, als wäre das Objekt an sehr langen Pendeln aufgehängt **FIG.1**, wodurch das Objekt nur minimale Beschleunigungen erfährt.

Bei seiner geringen Bauhöhe stellt ein solches Erdbebenschutz-Modul ein **virtuelles Pendel  $P_v$** , großer virtueller Länge  $l_v$ , mit langer Periodendauer dar. Diese Tragkonstruktionen oder Erdbebenschutz-Module sind so auslegbar, daß sie für jede gewünschte, oder erforderliche Amplitude einer möglichen Bewegung ausgeführt werden können, so daß extremste horizontale Bodenbewegungen sich nicht auf das getragene Objekt übertragen.

Durch entsprechende Auslegung und Dimensionierung kann erreicht werden, daß die Eigen-Schwingfrequenz des auf den Erdbebenschutz-Modulen gelagerten Gebäudes um ein Vielfaches geringer ist, als die Schwingfrequenzen des Bodens, wie sie üblicherweise bei Erdbeben auftreten.

Die Realisierung eines sogenannten **virtuellen Pendels**, das eine geringe Bauhöhe ermöglicht, aber die Wirksamkeit eines Pendels großer Pendellänge und damit eine lange Periodendauer einer Schwingung hat, basiert auf dem Prinzip, daß die Wirkung von stabilen und labilen Tragelementen in einer Weise gekoppelt wird, daß der stabilisierende Einfluß geringfügig aber hinreichend überwiegt.

Bei einem stabilen Tragelement strebt eine getragene Masse im Bereich seiner Bewegungsfreiheit unter dem Einfluß einer Gravitations-Beschleunigung die Lage geringster potentieller Energie an.

Ist eine Masse durch eine Bahn oder Fesselung z. B. durch ein Pendel so in der Bewegungsmöglichkeit geführt, daß eine Deplacierung aus der Ruhelage ihre potentielle Energie erhöht, so kehrt sie unter dem Einfluß der Gravitations-Beschleunigung in ihre ursprüngliche Ruhelage zurück.

**Die Lage der Masse ist stabil.**

Wird bei Deplacierung der Masse aus der Ausgangslage durch die vorgegebene Bewegungsbahn die potentielle Energie verringert, so strebt die Masse unter Einfluß der Gravitations-Beschleunigung einer weiteren Verringerung der potentiellen Energie zu.

**Die Lage der Masse ist instabil.**

Mit der Koppelung und Überlagerung beider Einflüsse, der stabilen und der labilen Masseverlagerung wird durch geeignete Wahl der geometrischen Größen der Koppelglieder erreicht, daß die resultierende Bewegung der Masse zu einer nur geringfügigen Erhöhung der potentiellen Energie führt, woraus eine langsame Rückführung in die Ruhelage und somit eine lange Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.

**Dies ist die Wirkung eines langen Pendels.**

Wenn erfindungsgemäß physikalisch kein langes Pendel vorhanden ist, jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer erreicht wird, so ist hier die Rede von einem virtuellen Pendel langer Periodendauer.

**Das sogenannte virtuelle Pendel hat bei geringer Bauhöhe jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer der Eigenschwingung.**

Nach FIG.6 stellt das **Stützelement 2** ein stabiles, hängendes Pendel mit der Länge  $l_h$  dar und **Stützelement 7** ein labiles, stehendes Pendel mit der Länge  $l_s$ .

Beim hängenden Pendel, **Stützelement 2** wird das frei bewegliche Ende des Pendels beim. Pendeln um den Winkel  $\alpha$  angehoben um den Betrag  $h$ . Beim stehenden Pendel, **Stützelement 7** wird bei einer Pendelbewegung um den Winkel  $\beta$  das frei bewegliche Ende des Pendels abgesenkt um den Betrag  $s$ . Beim hängenden Pendel, **Stützelement 2** beschreibt das freie Ende eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche. Beim stehenden Pendel, **Stützelement 7** beschreibt das freie Ende eine von oben gesehen konvexe sphärische Fläche.

Nach FIG.7 werden das hängende Pendel, **Stützelement 2** und das stehende Pendel, **Stützelement 7** mittels eines **Koppelements 8** gekoppelt. Beim gekoppelten Pendeln beider Pendel wird der Teil des **Koppelements 8**, der nah am stehenden Pendel, **Stützelement 7** ist, abgesenkt. Der Teil des **Koppelements 8**, der näher am hängenden Pendel, **Stützelement 2** ist, wird während des Pendelns angehoben.

Auf irgendeinem Teil des **Koppelements 8** mit der Länge  $c$  wird an einem Punkt **P** des **Koppelements 8** im Teilungsverhältnis von  $a$  zu  $b$  der Lagerpunkt **P** des getragenen Objekts während des Pendelns beider gekoppelter Stützelemente in beiden Bewegungsrichtungen im Bereich der zugrunde gelegten Horizontalamplitude um geringe Strecken angehoben.

Dies wird beeinflußt von der Wahl der Größen und der Verhältnisse zueinander von  $l_s$ ,  $l_h$ ,  $c$  und dem Verhältnis  $a$  zu  $b$ . Eine geringere Länge  $l_h$  des hängenden Pendels, **Stützelement 2** führt bei gleichem Pendelausschlag  $e$  zu einer größeren Anhebung  $h$  des Pendelendes. Eine Vergrößerung der Länge  $l_s$  des stehenden Pendels, **Stützelement 7** führt bei gleicher Auslenkung  $e$  zu einer Verringerung der Absenkung  $s$ . Die Wahl der Lage des Punktes **P** auf dem **Koppelement 8** mit der Länge  $c$  im Teilungsverhältnis  $a$  zu  $b$  erfolgt so, daß die Anhebung des Punktes **P** bei der Auslenkung  $e$  des hängenden Pendels, **Stützelement 2** in jedem Fall positiv wird aber minimal bleibt. Wird das **Koppelement 8** durch entsprechende Lagerung daran gehindert, sich um die **Hochachse H** zu drehen, so gelten die bis jetzt gemachten Betrachtungen gleichermaßen auch, wenn das Pendeln der **Stützelemente 2** und **7** sich in einer anderen Richtung ereignet, wie **FIG.8**, welche die Situation in der Draufsicht zeigt, veranschaulicht.

**FIG.8** Das **Koppelement 8** ist in fest mit der getragenen Masse verbundenen Lagern **B** drehbar um die Achse **Q** gelagert und dadurch an einer Drehung um die Hochachse **H** gehindert. Das freie Ende des hängenden Pendels, **Stützelement 2** beschreibt eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche **K**. Das stehende Pendel, **Stützelement 7** beschreibt in der Draufsicht eine von oben gesehen konvexe Sphäre **V**. Bei Auslenkung des freien Endes des hängenden Pendels, **Stützelement 2** um einen Betrag  $e$  in jedwelcher Richtung wird der Punkt **P** des **Koppelements 8** und somit die Achse **Q** in gleicher Weise angehoben wie bei einer Auslenkung in Richtung der **X**-Achse.

Der Gelenkpunkt **S** des **Koppelements 8** erfährt ebenso eine Absenkung in jedwelcher Richtung der Auslenkung der Pendel, **Stützelemente 2** und **7** wie in der Richtung der **X**-Achse. Damit erfährt der Punkt **P** auf dem **Koppelement 8** bei einer Auslenkung der gekoppelten Pendel in jedwelcher Richtung eine Anhebung.

Wie **FIG.7** zeigt, bewegt sich der Punkt **P** wie der freie Endpunkt eines hängenden langen Pendels mit der Länge  $l_v$ . er stellt das freie Ende eines virtuellen Pendels großer Länge dar.

**Fig.9** Bei einer Auslenkung  $e$  des **Koppelements 8** in **Fig.7** aus der Ruhelage um den Betrag  $e$  und einer Anhebung des Punktes **P** um den Betrag  $h_p$  wird nach **Fig.9** die Länge des virtuellen Pendels

$$l_v = \frac{e^2 + h_p^2}{2h_p} \quad (4)$$

Die **Kreisfrequenz** für das virtuelle Pendel ist

$$\omega = \sqrt{\frac{2g \cdot h_p}{e^2 + h_p^2}} \quad (5)$$

Die **Pendelfrequenz** des virtuellen Pendels ist

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g \cdot h_p}{e^2 + h_p^2}} \quad (6)$$

Die **Periodendauer** der Schwingung des virtuellen Pendels ist

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{e^2 + h_p^2}{2g \cdot h_p}} \quad (7)$$

Die maximale **Geschwindigkeit** des Punktes P  
des freien Endes des virtuellen Pendels beträgt

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2g \cdot h_p}{1 + \left(\frac{h_p}{e}\right)^2}} \quad (8)$$

Die maximale **Beschleunigung** des freien Endes des virtuellen Pendels  
und damit des hierdurch gestützten Objekts beträgt

$$a_{\max} = \frac{2g \cdot h_p}{e + \frac{h_p^2}{e}} \quad (9)$$

Die **Stützelemente 2** können ebenso bei annähernd gleicher Wirksamkeit auch aus Seilstrukturen bestehen und dabei auf gelenkige Aufhängungen verzichten, sofern die **Stützelemente 2** bei allen Belastungsfällen nur durch Zugkräfte belastet werden.

**FIG.10** zeigt eine Variante des Prinzips.

Neben der Wahl der Relationen von  $l_h$  zu  $l_s$  und  $a$  zu  $b$  läßt sich über einen Winkel  $\gamma$  des Wirkhebels  $b$  des **Koppelements 8** und ebenso auch durch Einführung eines Winkels am Wirkhebel  $a$  des **Koppelements 8** die Charakteristik der Anhebung des Punktes P beeinflussen und damit die wirksame Länge des virtuellen Pendels bestimmen.



Die Auslegung der Dimensionen kann so erfolgen, daß die wirksame Länge  $l_v$  des virtuellen Pendels ein Vielfaches der Bauhöhe der das Objekt tragenden Vorrichtung beträgt.

5 Hierdurch ist es möglich, daß die Schwingfrequenz des virtuellen Pendels und seine von ihm getragene Masse  $m$  sehr wesentlich niedriger liegt als die Schwingfrequenz der Basis 6 bei Auftreten von durch Erdbeben hervorgerufenen horizontalen Bewegungen.

Dies bedeutet eine Entkopplung der Lage des von den virtuellen Pendeln getragenen Objekts von den horizontalen Bewegungen des Bodens.

10 Die maximal auf den Baukörper oder das getragene Objekt einwirkenden Beschleunigungen ergeben sich aus dem Bewegungsverhalten des mathematischen Pendels gemäß Gleichung (9).

Durch entsprechende Auslegung und Dimensionierung ist es möglich, diese maximale horizontale Beschleunigung auf so geringe Werte zu reduzieren, daß sie vom Menschen nicht mehr physisch wahrnehmbar ist. Diese Wirksamkeit ist unabhängig davon, welche horizontalen Beschleunigungen die Basis 6 durch ein Erdbeben erfährt.

20 Die Magnitude eines Bebens hat keinen Einfluß auf die geradezu ruhende Lage eines durch virtuelle Pendel großer wirksamer Pendellänge und langer Periodendauer getragenen Baukörpers.

Fig.11 Bei diesem Beispiel wird ein System mit einem Koppелеlement 9 in der Form eines Dreiecks betrachtet.

25

Fig.12 zeigt die Draufsicht des Systems. Das dreieckige Koppелеlement 9 ist an drei schräg unter einem Winkel  $\delta$  angeordneten an drei Stützpunkten 10 an der Basis 6 zwei-achsig gelenkig aufgehängten Stützelementen 11 zwei-achsig gelenkig gelagert.

30 Wird an einer Seite des Koppелеlements 9 ein Stützelement 11 an seinem unteren Gelenkpunkt 12 angehoben, dadurch daß sein oberer Stützpunkt 10 durch Verschiebung der Basis 6 vom Zentrum des Koppелеlements 9 weg nach außen verschoben wird, und dadurch, daß das Koppелеlement 9 wegen seines Beharrungsvermögens und der im Zentrum 13 auf dem Koppелеlement 9 abgestützten Masse eines Objekts gegenüber der Bewegung der Basis 6 zurückbleibt, so werden über das Koppелеlement 9 auf seiner gegenüberliegenden Seite die unteren Gelenkpunkte 12 der angelenkten Stützelemente 11 aufgrund der Schrägstellung in der Ausgangslage der Stützelemente 11 abgesenkt.

35

Da wegen der unter dem Winkel  $\delta$  geneigten Ausgangslage der Stützelemente 11 die Absenkung auf einer Seite des Koppелеlements 9 geringer ist, als die Anhebung auf der gegenüberliegenden Seite, erfährt das Zentrum 13 des Koppелеlements 9 eine Anhebung.

Das Verhältnis der Anhebung des Kopppelements 9 auf einer Seite zu der Absenkung auf seiner gegenüberliegenden Seite wird beeinflußt durch die Wahl des Winkels  $\delta$  bei der mittleren Ruhelage des Kopppelements 9 und der Wahl der Relationen der geometrischen Größen der Stützelemente und des Kopppelements.

Bei omnidirektionaler Verschiebung der Basis bewegt sich das Zentrum 13 des Kopppelements 9 auf einer Ortsfläche in der Form einer nach oben offenen konkaven Fläche, mit dem Krümmungsradius  $\rho$ .

Das Zentrum 13 des Kopppelements 9 bewegt sich wie an einem virtuellen Pendel mit der Länge  $\rho$  aufgehängt. Das Zentrum 13 des Kopppelements 9 erfährt bei einer Verschiebung um den Betrag  $\varepsilon$  eine Anhebung um den Betrag  $h$ , und das Kopppelement 9 eine Schrägstellung um den Winkel  $\zeta$ .

Fig.13 ist mit dem Kopppelement 9 ein vertikales Stützelement 14 mit der Höhe  $l_p$  im Zentrum 13 fest verbunden, so stellt diese Einheit für sich allein ein stehendes physikalisch instabiles Pendel dar, welches unterhalb seiner physischen Ausdehnung virtuell 2-achsig gelenkig gestützt und bei Kippen um den unteren momentanen Drehpunkt durch die Koppelung über Kopppelement 9 an die Stützelemente 11 in FIG.12 um den Betrag  $h$  angehoben wird.

Das obere Ende P des Stützelements 14 mit der Höhe  $l_p$  in Einheit mit dem Kopppelement 9 erfährt durch das Kippen um den Winkel  $\zeta$  eine relative Absenkung um den Betrag

$$s_p = l_p (1 - \cos \zeta) \quad (10)$$

und eine zusätzliche exzentrische Verlagerung

$$u = l_p \cdot \sin \zeta \quad (11)$$

Die gesamte exzentrische Verlagerung des Punktes P wird

$$\begin{aligned} e &= \varepsilon + u \\ e &= \varepsilon + l_p \cdot \sin \zeta \end{aligned} \quad (12)$$

Die resultierende Anhebung des Punktes P wird

$$\begin{aligned} h_p &= h - s_p \\ h_p &= h - l_p (1 - \cos \zeta) \end{aligned} \quad (13)$$

Nach FIG.14 bewegt sich der Punkt P, das obere Ende des Stützelements 14 auf einer nach oben offenen konkaven Fläche mit einer flachen Wölbung. Diese Wölbungskrümmung

und die Reststabilität wird von den Relationen der Abmessungen der einzelnen Glieder der Baugruppe zueinander, insbesondere durch die Größe der Höhe  $l_p$  bestimmt.

Die Wahl der Größe  $l_p$  wird begrenzt durch die Höhe, bei welcher das System instabil wird.

Die Vorrichtung nach FIG.14 stellt ein virtuelles Pendel dar zur 2-achsig gelenkig gelagerten Abstützung eines Objekts im Punkt P, so als wenn das Objekt an einem langen Pendel mit der Länge  $l_v$  beziehungsweise  $p$  aufgehängt wäre.

Mit  $e$  und  $h_p$  aus den Gleichungen (12) und (13) wird die Länge des virtuellen Pendels aus der Beziehung nach Gleichung (4) bestimmt.

Des weiteren gelten die Gleichungen (5) bis (9).

Die Stützelemente 11 können ebenso bei annähernd gleicher Wirksamkeit auch aus Seilstrukturen bestehen und dabei auf gelenkige Aufhängungen verzichten, sofern die Stützelemente 11 bei allen Belastungsfällen nur durch Zugkräfte belastet werden.

Die Bewegung der Lagerpunkte des getragenen Objekts auf den Erdbebenschutz-Modulen erfolgt in einer sehr flachen, von oben konkaven sphärischen Fläche, wobei die Sphäre keinen exakten Kugelschalenausschnitt darstellt, sondern nur näherungsweise. Die Krümmung der Fläche ist über der Auslenkung aus der Mittellage nicht konstant, was aber der Funktionalität des Systems keinen Abbruch tut. Aufgrund der Anhebung bei vollem Ausschlag erfolgt eine Rückstellkraft durch die Gravitation, wodurch eine selbstzentrierende Wirkung des Lagerpunktes bewirkt wird. Allerdings erfolgt die Rückführung in die Mitte nicht vollständig aufgrund der vorhandenen Reibung, obwohl sie sehr gering ist.

Der horizontal wirksame Schub aus der Massenkraft des an virtuellen Pendeln hängenden Objekts ist.

$$S_H = m \cdot g \cdot \frac{e}{l_v} \cdot \cos \left[ \arcsin \left( \frac{e}{l_v} \right) \right] \quad (14)$$

$S_H$  ..... horizontaler Schub durch Gravitation

$m$  ..... getragene Masse

$g$  ..... Erdbeschleunigung

$e$  ..... Auslenkung von der Mittellage

$l_v$  ..... Länge des virtuellen Pendels

Der horizontale Widerstand durch Reibung gegen Verschiebung ist

$$W_H = m \cdot g \cdot \mu_{red} \quad (15)$$

$W_H$  .....horizontaler Widerstand gegen  
Verschiebung

$\mu_{red}$  .....reduzierter Reibungskoeffizient

Der horizontale Widerstand gegen Verschiebung ist bedingt durch die Konzeption der Erdbebenschutz-Module extrem niedrig.

Der Reibungs-Koeffizient wird reduziert im Verhältnis der halben Lagerdurchmesser der Pendellagerungen der Stützelemente zu der wirksamen Länge der Pendel .

Der reduzierte Reibungskoeffizient wird

$$\mu_{red} = \mu \cdot \frac{D_L/2}{L_P} \quad (16)$$

$\mu$  .....Reibungskoeffizient der  
Lagerausführung der Pendel

$D_L$  .....Durchmesser der Lager der  
Stützelemente, Pendel

$L_P$  .....Länge des Stützelements, Pendel

Da auslegungsgemäß die Krümmung der Bewegungsfläche des Endpunktes des virtuellen Pendels wegen der angestrebten Wirkung der Entkopplung von den Bodenbewegungen im Mittelbereich sehr flach ist, entsteht dennoch trotz der extrem niedrigen Reibung nach Ausschwingen eine Hysterese mit einer horizontalen Ablage von der Mittellage

$$A_H = l_v / \sin (\arcsin \arccos \mu_{red}) \quad (17)$$

$A_H$  .....horizontale Ablage vom Mittelpunkt

Die Konzeption der Erdbebenschutz-Module läßt es zu, daß die vorzusehenden Schwingweiten großzügig ausgelegt werden können, so daß im Falle von extremen Bodenbewegungen genügend Freiraum zum Schwingen relativ zur Basis vorhanden ist, auch wenn die Ausgangslage zur Schwingung nicht der Mittelpunkt war. So kann unter dem Einfluß von Driftung durch Windkräfte und durch das jeweilige Ausschwingen nach einem Beben die Position des Gebäudes verschieden sein. Wo dies nicht stören würde, könnte man ohne eine zusätzliche Zentrierung des Gebäudes und Abstützung gegen Windkräfte auskommen. Wo aber die Forderung besteht, daß das Gebäude immer auf dem gleichen Punkt bleibt, ist eine zusätzliche Einrichtung zur exakteren Zentrierung notwendig.

Fig.15 zeigt eine einfache Lösung einer Horizontal-Abstützung. Eine solche Vorrichtung wird an mindestens 2 Stellen des Gebäudes benötigt, kann aber auch in die einzelnen Erdbebenschutz-Module integriert werden.

Eine vorgespannte **Zugfeder 41** ist mit ihrem unteren Ende mit der Basis verbunden. An ihrem oberen Ende trägt die Zugfeder den **Zapfen 42**, der in ein sphärisches **Gelenklager 43** axial verschiebbar hineinragt, welches fest mit der getragenen Struktur verbunden ist. Die **Zugfeder 41** ist soweit vorgespannt, daß die horizontale Hebelkraft in der Höhe des **Gelenklagers 43** der maximal erwartbaren Windkraft entgegenwirkt, ohne daß durch Biegung der **Zugfeder 41** und Abheben der Windungen auf einer Seite der Feder der **Zapfen 42** eine Schrägstellung erfährt. Erfolgt jedoch eine horizontale Bewegung der Basis gegenüber der getragenen Gebäudemasse durch ein Erdbeben mit einer hohen Beschleunigung, wodurch ein Impuls aus der Gebäudemasse entsteht, der die Wirkung von Windlast deutlich übersteigt, so wird durch das hervorgerufene Moment über den Hebel des **Zapfens 42** die **Feder 41** gebogen. Die Basis erfährt gegenüber dem Gebäude eine **Verlagerung**  $\varepsilon$ . Bei weiterer Verschiebung nach Überwindung dieses Anfangsmoments nimmt die Größe der Kraft nicht mehr linear sondern degressiv zu. Auf diese Weise wird die Reaktionskraft aus der Feder über den **Schwinghub S** klein gehalten.

Diese Horizontal-Abstützung kann auch in umgekehrter Anordnung Anwendung finden, wobei das **Gelenklager 43** mit der **Basis 6** verbunden oder in dem Fundament bündig eingelassen ist, und das Ende des **Zapfens 42** mit der **Feder 41** hängend an der getragenen **Gebäudestruktur 51** befestigt ist.

20

**Fig.16** zeigt eine vergleichbare Lösung zur Zentrierung des Gebäudes mit einem **Federblock 48** aus Elastomer-Werkstoff. Bei entsprechender Dimensionierung des Federblocks ist das Verhalten vergleichbar mit der Lösung in **Fig.15**. Nur ist kein ausgeprägtes Losbrechmoment wirksam. Von Anfang an erfolgt die Bewegung stetig in Abhängigkeit von der Horizontalkraft. Die umgedrehte Anordnung ist auch bei dieser Ausführung möglich.

25

**Fig.17** zeigt eine Vorrichtung zur Zentrierung des Gebäudes, bei der eine **Haltevorrichtung 50** sich an mindestens 2 Punkten fest verbunden unter der getragenen **Gebäudestruktur 51** befindet. Eine in einem **Kugelbett 49** gelagerte **Rollkugel 44** wird in einen **Zentriertrichter 45** durch die **Feder 47** mit der Vertikalkraft  $F_v$  gedrückt, die mit der maximal erwartbaren durch Luftkräfte am Gebäude bewirkten **Horizontalkraft**  $F_h$  im Gleichgewicht steht.

30

$$F_v = F_h \cdot \operatorname{tg}(\gamma/2)$$

(18)

35

 $F_v$  ..... Vertikalkraft $F_h$  ..... Horizontalkraft $\gamma$  ..... Öffnungswinkel des  
Zentriertrichters

Wird die Kraft  $F_v$  größer, als sie durch Windkraft hervorgerufen werden kann, und die dann nur aus dem Impuls beim Erdbeben herrührt, wird durch horizontales Verschieben des Zentriertrichters 45 mit der Basis 6 die Rollkugel 44 gegen die Feder 47 über den Kolben 52 zurückgedrückt und gelangt in den Bereich des Zentriertrichters 45 mit abnehmender Neigung beziehungsweise größer werdenden Öffnungswinkel. Hierdurch nimmt die horizontal übertragbare Kraft ab und wird Null, sobald die Kugel den Bereich des Trichters verläßt und auf der ebenen Fläche rollt.

Das durch den Kolben 52 verdrängte Fluid gelangt über das Rückschlagventil 53 in einen externen Vorratsbehälter oder in den integrierten Ausgleichsraum 55. Beim möglichen Zurückfedern wird die Geschwindigkeit des Ausfahrens des Kolbens dadurch gebremst, daß das Fluid nur über die Drosselblende 30 zurückfließen kann.

Beim schnellen Schwingen der Basis landet die langsam zurückkommende Rollkugel 44 nicht wieder im steileren Zentrum des Zentriertrichters 45, sondern im Bereich mit geringer Neigung. Demzufolge sind die übertragbaren horizontalen Kräfte gering.

Wenn das Schwingen zum Stillstand kommt, setzt sich die Rollkugel 44 im steileren Bereich des Zentriertrichters ab und zentriert das getragene Objekt mit der dann wieder wirkenden erhöhten horizontalen Haltekraft  $F_h$ .

Fig.18 stellt eine andere Form der Gebäudezentrierung und Windkraftabstützung dar. Zwischen der Wand des Gebäudeuntergeschosses 22 und der Fundamentwand 20 an der Basis 20 sind an 2 sich gegenüberliegenden Seiten mindestens 2 und an den übrigen 2 Seiten eines rechteckigen Gebäudes mindestens je 1 Abstützelement, Horizontalabstützung 24 angeordnet. Die horizontale Abstützung besteht aus einem Hydraulik-Zylinder 40 mit voll gegen Anschlag ausgefahrener Kolbenstange, die an ihrem Ende mit einem Fahrwerk versehen ist mit einer Rolle 25 oder mehreren Rollen. Zwischen Rolle und einer Lamelle 26 an der Wand der Basis als Rollbahn ist ein minimaler Luftspalt vorgesehen bei genau zentriertem Gebäudeunterteil innerhalb der Basis. Die Rollrichtung der Rollen ist horizontal ausgerichtet. Damit die Kolbenstange mit dem Rollenfahrwerk seine Richtung beibehält, ist das Ende der Kolbenstange mit dem Zylinder 40 über ein Kniegelenk-Gestänge als Drehsicherung verbunden. Wenn die Wand des Fundaments 20 sich auf das Untergeschoß 22 des Baukörpers zubewegt, wird über die Rolle 25 und Kolbenstange der Kolben in den Zylinder 40 eingefahren und verdrängt darin vorhandenes Fluid und fördert es in einen oder mehrere Hydraulik-Akkumulatoren 27, die als Membran-, Blasen- oder Kolbenspeicher ausgebildet sein können, und verdichten auf der anderen Seite der Membran 28 ein Gas, Luft oder Stickstoff. Damit wirkt der Hydraulik-Zylinder wie eine Federstütze mit Gasfederung. Ist die Kolbenstange voll ausgefahren gegen den mechanischen Anschlag im Zylinder 40, so befindet sich ein über die Kolbenstange gesteuertes Regelventil 29 in Öffnungsstellung. Der Gasdruck in den Akkumulatoren drückt das Fluid durch die Drosselblende 30 über das geöffnete Ventil in den Rücklauf zum Vorratsbehälter 32. Wird

die Kolbenstange durch die Annäherung der Fundamentwand 20 an das Untergeschoß 22 des Gebäudekörpers in den Zylinder eingefahren, so wird das Regelventil 29 geöffnet und aus der Druckleitung 33 gelangt Fluid in die Hydraulik-Akkumulatoren 27, so daß sich ein Druck aufbaut solange, bis die daraus resultierende Kraft im Zylinder die Kolbenstange ausfährt und den Gebäudekörper wieder in seine Nullstellung bringt. Somit wird das Gebäude in seine Mittelstellung gebracht. Dieser Vorgang ist wirksam, wenn durch Windkraft das Gebäude wegen seiner leichten Verschiebbarkeit gegenüber der Basis aus seiner Mittelstellung geschoben wird. Da die Windkräfte sich nicht sprunghaft ändern, sondern zum Auf- und Abbau immer eine gewisse Zeit notwendig ist, ist der Vorgang mit dem Zufluß und Abfluß von Fluid über die Drosselblende hinreichend schnell, um den Regelvorgang beim Sollwert, das heißt, das Gebäude in der Mittelstellung zu halten. Erfolgt die Annäherung der Basiswand an das Gebäude in schnellerer Folge, wie dies beim Erdbeben der Fall sein würde, so sind mit dem schnellen Einfedern des Kolbens und damit Öffnen und jeweils Schließen des Ventils in schneller Folge über die Drosselblende 30 die Zu- und Abflüsse von Fluid in das Luftfeder-System und wieder heraus gering. Die Gasfederkraft im Zylinder 40, die mit der jeweiligen Luftkraft zunächst in Balance war, variiert durch die flache Federkennung und das Ein- und Ausströmen durch die Drosselblende 30 in der Frequenz des Bebens bei Bewegungen des Kolbens und des Regelventils 29 nur gering. Das System kann so ausgelegt werden, daß diese zur Beschleunigung wirksam werdenden Kräfte so klein bleiben, daß sie bezogen auf die Gebäudemasse nur sehr geringe wirksame Beschleunigungen in schneller Folge im Wechsel der Frequenz des Bebens zur Folge haben. Das Hydraulik-System wird zentral versorgt aus einem Vorratsbehälter 32 und über eine Pumpe 36, die von einem Motor 34 angetrieben wird, der über einen Druckregelschalter 35 gesteuert wird. Die Energieversorgung für den Antrieb könnte autonom durch Solar- oder Windenergie bereitgestellt werden. Die Hydraulik-Energie wird in einer Batterie von Hydraulik-Druckspeichern 38 gepuffert, so daß die Leistung der Pumpe 36 gering gehalten werden kann. Während eines Bebens steht reichlich externe Energie zur Verfügung, die in dieser Anlage gleichzeitig genutzt werden kann, so daß in einer Variante der Kolben der Horizontalabstützung mit einer Kolbenpumpe 37 kombiniert werden kann. Während der schnellen Bewegung der Basis gegenüber dem Baukörper fördert somit diese Kolbenpumpe 37 Fluid aus dem Vorratsbehälter 32 in die Druckspeicher 38 und deckt damit den Massenstrom ab, der dadurch entsteht, daß Fluid aus dem Federungssystem, bestehend aus Zylinder 40 und Akkumulator 27, über die Drosselblende 30 durch das mit der Frequenz des Bebens während einer Halbschwingung öffnende Regelventil 29 in den Rücklauf fließt.

Fig.19 zeigt eine Horizontal-Abstützung über eine Schwinge 39. Die Schwinge 39 ist an einem am Gebäudekörper befestigten Gestell 46 gelagert und über einen Zylinder 40 oder mehrere Zylinder an der Gebäudewand des Untergeschosses 22 abgestützt und trägt am Ende ein Rollenfahrwerk mit einer oder je nach Abstützungslast mehreren Rollen 25, die

sich auf einer **Lamellen-Laufbahn 26** an der Wand des **Fundaments 20** bewegen können. Anstelle von Rollen können auch Gleitschuhe Verwendung finden mit entsprechenden Gleitwerkstoffen. An dem **Gestell 46** befindet sich ein **Regelventil 29**, welches von der **Schwinge 39** betätigt wird und die gleiche Funktion hat, wie in dem Beispiel nach **Fig.18**. Im übrigen entspricht die hydraulische Ausrüstung dem Beispiel in **Fig.18**.

Auch diese Vorrichtung wird pro Bauwerk in mindestens 6 Exemplaren benötigt, um die Soll-Lage des Gebäudes in 3 Achsen, nämlich in 2 horizontalen und 1 vertikalen Achse zu erhalten. Diese Schwingausführung der horizontalen Abstützung ermöglicht große Beträge der Schwingweite des Gebäudes gegenüber der Basis.

Das Federungssystem, bestehend aus dem **Hydraulik-Zylinder 40** und nachgeschalteten Hydraulik-Akkumulatoren wie dem Beispiel gemäß **Fig.18**, hat ohne äußere horizontale Verschiebekräfte durch Wind eine Anfangs-Federkennung nach der Funktion

$$F_0 = C_0 \cdot f$$

wobei  $f$  der Federweg ist. Bei größeren Federwegen erfolgt die Kennlinie nicht linear, sondern aufgrund der Verdichtung des Gases entsprechend der Funktion einer polytropen Kompression. Bei wechselnder Verlagerung des Fundaments gegenüber dem getragenen Baukörper um den Betrag  $\varepsilon$  wird die durch die Federung entstehende Kraft  $\Delta F_0$  wirksam als Beschleunigungskraft auf die Baukörpermasse. Bei Wind steigt die Abstützkraft des Systems entsprechend der Windkraft selbsttätig an, wie im Beispiel nach **Fig.18** beschrieben, ohne daß der Baukörper sich wesentlich in seiner Lage verändert hat. Erfolgt nun während eine Windlast  $F_w$  abgestützt wird gleichzeitig eine Bewegung durch Erdbeben und eine Verlagerung der Basis gegenüber dem Gebäude um den Betrag  $\varepsilon$ , so steigt die Kraft in dem Abstütz-Federungssystem an nach der Funktion

$$F_w = C_2 \cdot f - F_w$$

Diese Funktion hat eine etwas höhere Steilheit als die, die vom Nullpunkt ausgeht, weil sich das Verhältnis von verdrängtem Fluid-Volumen bei Einfederung zum Gasvolumen verändert hat. Bei der Einfederung um den Betrag  $\varepsilon$  ist nun die Abstützkraft um den Wert  $\Delta F_w$  angestiegen und nur diese Differenzkraft  $\Delta F_w$  wirkt sich als Beschleunigungskraft auf die Gebäudemasse aus.

**Fig.20** stellt im wesentlichen eine gleiche Horizontalabstützung über eine Schwinge dar, wie sie für **Fig.19** beschrieben ist. Diese Vorrichtung ist zusätzlich ausgerüstet mit einer Kolbenpumpe, die zwischen der **Schwinge 39** und dem **Gestell 46** angeordnet ist wie der Arbeitszylinder **40**. Die **Kolbenpumpe 37** hat die gleiche Funktion, wie sie bei der Vorrichtung gemäß **Fig.13** beschrieben ist.



## Kurzbeschreibung der Zeichnungen

5 **Fig.1** ist die Darstellung eines Hauses, gestützt auf Erdbebenschutz-Modulen, die virtuelle Pendel großer Länge darstellen mit dem Bewegungsverhalten, als wäre das Haus an langen Pendeln mit der Länge  $l_v$  aufgehängt.

10 **Fig.2 - Fig.4** zeigen Vorrichtungen zum Erdbebenschutz entsprechend dem Stand der Technik gemäß Darstellungen aus den bezogenen Schriften.

**Fig.5** veranschaulicht eine schematische Darstellung und veranschaulicht die benutzten Bezugszeichen und Funktionsgrößen eines mathematischen Pendels, wie sie im Abschnitt Fundament-Isolation für die grundsätzlichen Betrachtungen benutzt werden.

15 **Fig.6** gehört zum Abschnitt **Übersicht der Erfindung** und zeigt in schematischer Darstellung einer Gegenüberstellung von stabilen und labilen Pendeln als Stützglieder.

20 **Fig.7** ist eine vereinfachte schematische Darstellung eines Beispiels für eine Vorrichtung, die ein virtuelles Pendel großer Länge abbildet bei vergleichsweise geringer vertikaler realer Erstreckung und veranschaulicht das Wirkprinzip zum Erhalt der Aufgabenlösung, wonach ein Punkt dieses kinematischen Schemas als Stützvorrichtung für ein zu tragendes Objekt dienen kann mit einem räumlichen Bewegungsverhalten, als wäre dieser Punkt das schwingende Ende eines langen Pendels.

25 **Fig.8** ist eine vereinfachte Darstellung der vertikalen Draufsicht auf das Schema von Fig.7.

**Fig.9** zeigt die benutzten Bezeichnungen zum Schema eines Pendels.

30 **Fig.10** ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer Variante des Schemas von Fig.7

**Fig.11** ist eine vereinfachte schematische Darstellung eines 2. Beispiels einer anders als im Beispiel in Fig.7 gestalteten Lösung zur Realisierung eines virtuellen Pendels.

**Fig.12** stellt schematisch die vertikale Draufsicht zum Beispiel in Fig.11 dar.

35 **Fig.13 und Fig.14** zeigt in vereinfachter schematischer Darstellung eine Ergänzung zum Beispiel in Fig.11 und Fig.12 zur Erzielung einer großen virtuellen Pendellänge.

**Fig.15** zeigt in einer prinzipiell ausführbaren Form eine Zentrier- und Windkraft-Haltevorrichtung für ein durch virtuelle Pendel getragenes Objekt.

5

**Fig.16** ist die Darstellung einer Vorrichtung zur Zentrierung eines durch virtuelle Pendel getragenen Objekts mittels eines Federblocks aus elastomerem Werkstoff.

10

**Fig.17** ist eine Zentrier- und Windkraft-Abstützvorrichtung für ein durch virtuelle Pendel gestütztes Objekt mittels einer Kugel, die durch Federkraft in einen Trichter gedrückt wird.

15

**Fig.18** zeigt eine vereinfachte Darstellung eines Schemas für ein hydropneumatisch betätigtes System zur Zentrierung und Windkraftabstützung eines von virtuellen Pendeln getragenen Objekts.

20

**Fig.19** zeigt eine Vorrichtung zur Zentrierung und Windkraftabstützung eines von virtuellen Pendeln getragenen Objekts mittels durch hydropneumatische Federkraft an die mit der Basis verbundene Fundamentwand abgestützter Schwingen.

25

**Fig.20** zeigt die gleiche Vorrichtung wie Fig.19 mit zusätzlicher Integration einer Hydraulik-Pumpe, die ihre Antriebsenergie aus der Bewegung der Basis bei Erdbeben bezieht.

30

**Fig.21** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul mit Einbau in das Untergeschoß eines Gebäudes als Vorrichtung zum Tragen von Gebäuden und Objekten mit der Realisierung eines virtuellen Pendels nach dem Prinzip von Fig.14.

**Fig.22** ist ein Erdbebenschutz-Modul, wie in Fig.21 gezeigt, mit Integration einer Zentrier- und Windkraft-Haltevorrichtung nach dem Schema von Fig.15.

**Fig.23** ist ein Erdbebenschutz-Modul wie in Fig.21, kombiniert mit einem Elastomerblock als Zentrierfeder.

35

**Fig.24** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul mit ebenerdigem Einbau als Vorrichtung zum Tragen von Gebäuden und Objekten mit der Realisierung eines virtuellen Pendels nach dem Prinzip gemäß Fig.10.

40

**Fig.25** zeigt den vertikalen Schnitt durch ein Gebäude, getragen von Erdbebenschutz-Modulen wie in Fig.24 mit Darstellung der Lage der Abstütz-Vorrichtungen zur Zentrierung des Gebäudes und zur Aufnahme von Windkräften.

**Fig.26** ist ein horizontaler Schnitt durch das Untergeschoß eines Gebäudes und das Rahmen-Fundament in der Ebene der Zentrier-Vorrichtung und zeigt die Anordnung der Abstützungen eines Beispiels nach **Fig.20**.

5

**Fig.27** und **Fig.28** zeigen 2 verschiedene Lagen von Deplacierung der Basis mit Fundament relativ zum stillstehenden Gebäude, das aufgrund der Aufhängung an virtuellen Pendeln auf derselben Stelle bleibt selbst bei Wind.

## Beschreibung von zweckmäßigen Ausführungen

10

**Fig.21** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul in einer Ausführung nach dem Schema gemäß **Fig.14** mit Einbau in das Untergeschoß eines Hauses. Drei **Stützelemente 11** haben an ihren Enden jeweils ein sphärisches **Gelenklager 15** oder alternativ Kardangeln oder **Kugelgelenk 17** und sind an ihrem oberen Ende an einer **Tragstruktur 5** zweiachsig gelenkig aufgehängt und tragen am unteren Ende das **Koppelement 9**. Am oberen Ende des **Koppelements 9** ist die **Gebäudestütze 16**, die mit der getragenen **Gebäudestruktur 51** verbunden ist, mit einem **Kugelkopf 17** gelenkig gelagert. Ein **Faltenbalg 18** aus Elastomer-Werkstoff oder Metall dichtet das Kugelkopflager hermetisch ab. Eine gleitende **Dichtung 19** dichtet den Spalt zwischen getragenen Baukörper, der sich gegenüber der Basis bewegen kann, zum Gebäudeteil der **Basis 6** ab.

15

20

**Fig.22** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** in der ähnlichen Ausführung wie **Fig.21**. Zusätzlich ist eine **Zentrier- und Windkraftabstütz-Vorrichtung 57** und Zentrier-Vorrichtung integriert in der Bauweise gemäß **Fig.15**. Diese Lösung hat den Vorteil platzsparend zu sein. Beide Funktionen, das Objekt zu tragen und es genau zu zentrieren und der Windkraft eine Gegenkraft entgegenzustellen, werden in einer Einheit vereinigt.

25

**Fig.23** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** mit einer weiteren Kombination der Trag- und Zentrier-Funktion. Die Zentrierung übernimmt hier ein **Elastomer-Federblock 48**.

30

**Fig.24** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul in einer Ausführung nach dem Schema gemäß **Fig.10** in einer Schwerlastausführung für hohe Gebäude mit ebenerdiger Montage. Das hängende **Pendel 2** hat an beiden Enden jeweils ein sphärisches Gelenklager oder ein Kardangeln und ist an seinem oberen Ende aufgehängt an der **Tragstruktur 5**. Am unteren Lager des **Pendels 2** ist der **Träger 8** als Koppelement gelagert. Das andere Ende des **Koppelements 8** stützt sich über ein **Kugelgelenk 17** oder alternativ möglich auch über ein Kardangeln oder sphärisches Gelenklager auf dem stehenden labilen **Pendel 7** ab. Das stehende **Pendel 7** stützt sich über ein gleiches **Gelenk 17** wie am oberen Ende ebenso am unteren Ende auf der Basis in diesem Fall dem **Fundament 20** ab. An dem **Träger 8** ist die

35

Gebäudestütze 16 einachsrig gelenkig gelagert abgestützt und trägt den Gebäudekörper 1. Das Erdgeschoß des Gebäudes zusammen mit dem Untergeschoß 22 oder mehreren Untergeschossen hängen an dem Gebäudekörper 1. Der Zwischenraum 23 zwischen den Untergeschossen 22 und dem Fundament 20 an der Basis wird durch den Außenbereich des Erdgeschosses abgedeckt und der Bewegungsspalt zum Fundament mit einer Gleitdichtung 19 abgedichtet. Die Verbindungen zur Versorgung und Entsorgung des Gebäudes 21 mit Wasser und Energie und zur Kommunikation sind zwischen der Fundamentbasis 20 und den Untergeschossen 22 des Gebäudes in einer U-Schleife hängend flexibel ausgeführt, so daß Relativbewegungen zwischen Basis und Gebäude möglich sind, ohne daß die Verbindungen gefährdet werden können.

Fig.25 zeigt einen vertikalen Teilschnitt eines Hochhauses mit der Abstützung durch Erdbebensicherungs-Module 56 der Außenkante des Gebäudes entlang aufgereiht in der Bauweise gemäß Fig.24. In einer Ebene 54 eines Untergeschosses 22 sind am Umfang des Gebäudes Horizontal-Abstützungen 24 angebracht nach dem Prinzip entsprechend Fig.19 oder Fig.20 mit den entsprechenden hydraulischen Ausrüstungen gemäß Fig.18.

Fig.26 zeigt einen Horizontalschnitt durch ein Gebäude-Untergeschoß 22 und das rahmenförmig um das Untergeschoß ausgebildete Fundament 20 als Tragbasis für die Erdbebenschutz-Module in der Ebene 54 in Fig.25. An jeder Seite des Untergeschosses 20, das relativ zur Basis und damit verbundenen Fundament 20 in allen Richtungen beweglich oder verschiebbar ist, befinden sich an jeder Wand je zwei Vorrichtungen zur Horizontal-Abstützung 24 gegen Windkräfte und zur genauen Mittelzentrierung des Gebäudes relativ zum Fundament. Die Abstütz-Vorrichtungen entsprechen dem Schema nach Fig.20. Baut sich am oberen Gebäudeteil eine Windkraft auf, so verbleibt das Gebäude in der gleichen Lage wie in Fig.26 dargestellt. Die Abstützeinrichtungen reagieren auf geringste Einfederung und erhöhen die Abstützkraft in den Federelementen solange, bis Gleichgewicht mit der Windkraft vorhanden ist. Bei genauer Mittellage ohne äußere Kräfte durch Wind ist zwischen den Laufrollen und der Fundamentwand ein geringfügiges Spiel vorgesehen. Alle Feder-Zylinder sind voll ausgefahren bis zu ihrem hydraulisch gedämpften Anschlag.

Fig.27 Erfolgt eine Verschiebung der Basis in Richtung 58 der dargestellten Pfeile 58 durch ein Erdbeben, so federn die Abstützeinrichtungen an der Seite ein, wo sich die Fundamentwand dem Gebäude nähert. Auf der gegenüberliegenden Seite des Gebäudes heben sie von der Wand ab.

**Fig.28** Bei Bewegung der Basis in einer nicht einer Gebäudekante parallelen oder dazu senkrechten **Richtung 58**, federn die Abstützelemente an zwei Seiten ein und an den gegenüberliegenden Seiten heben sie von der Wand ab.

5

## Patentansprüche

1. **Verfahren zum Schutz von Gebäuden und Objekten** vor dynamischen Kräften aus Beschleunigungen der Basis z.B. bei Erdbeben **dadurch gekennzeichnet**, daß in einem das  
10 Objekt tragenden System die Wirkung von stabilen, die Objektmasse anhebenden und von labilen, die Objektmasse absenkenden Stützelementen in der Weise durch Koppelung überlagert wird, daß bei wechselnder horizontaler Bewegung der Basis durch Erdbeben unter dem Einfluß einer Deplacierung der mit der Basis verbundenen Stützpunkte der  
15 Stützelemente gegenüber der Lage der trägen Masse des Objekts eine nur geringe Anhebung der Objektmasse erfolgt, wodurch eine nur geringe in die Richtung der Ruhelage stabilisierende Rückstellkraft erzeugt wird, woraus eine nur geringe Objektbeschleunigung mit langer Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.

2. **Vorrichtung mit Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 1** zur schwingungs-  
20 entkoppelten Lagerung eines Objektes an mindestens drei Stützpunkten gegenüber einer schwingenden Basis zum Schutz des Objekts gegen Schwingungen der Basis, wobei die Abstützung des Objektes auf einem Koppelement erfolgt, das seinerseits über nach allen Richtungen pendelnd gelagerte Stützelemente, die es miteinander koppelt, an der schwingenden Basis abgestützt ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dimensionierung und  
25 Anordnung der Stützelemente in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß das Koppelement mit den an ihm angelenkten Stützelementen ein **virtuelles Pendel** darstellt, das für einen Lagerpunkt des Objekts auf dem Koppelement eine vergleichbare Bewegungsform ergibt, wie sie das freie Ende eines sehr langen Pendels beschreibt.

3. **Vorrichtung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet**, daß das Koppel-  
30 element an einer Anlenkseite der Stützelemente eine Anhebung und an einer gegenüberliegenden Seite eine Absenkung erfährt, und daß der Lagerpunkt zur Abstützung des Objekts auf dem Koppelement bei einer zugrundegelegten Horizontalamplitude der schwingenden Basis eine nur geringe Anhebung erfährt und eine derartige Bewegung  
35 ausführt, daß er eine flach gekrümmte, nach oben offene konkave Ortsfläche beschreibt.

4. **Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Stütz-  
elemente durch ein Koppelement jeweils zweiachsig gelenkig verbunden sind, wobei ein  
40 Stützelement als ein am oberen Ende zweiachsig gelenkig pendelnd an einem mit der Basis verbundenen Stützpunkt aufgehängtes **stabiles Pendel** und das andere Stützelement als ein

am unteren Ende auf der Basis zweiachsig gelenkig gelagertes stehendes labiles Pendel ausgebildet ist, und daß das Koppellement an dem Objekt in einer waagerechten Achse gelagert ist, so daß es relativ zu dem Objekt keine Drehung um die Hochachse ausführen kann.

**5. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß drei Stützelemente an einem Koppellement an drei Punkten am Umfang zweiachsig gelenkig angelenkt, in der Ruhelage von dem Zentrum des Koppellements weg nach oben schräg nach außen geneigt angeordnet und zweiachsig gelenkig an der Basis aufgehängt sind.**

**6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Lagerpunkt zur Abstützung des Objekts oberhalb einer durch die drei Lagerpunkte der Stützelemente an dem Koppellement gebildeten Ebene angeordnet ist.**

**7. Vorrichtung zur Zentrierung von nach Anspruch 1 und 2 auf virtuellen Pendeln beweglich gestützten Gebäuden oder Objekten in eine Mittellage und zur Aufnahme von Windkräften dadurch gekennzeichnet, daß unter dem getragenen Objekt zwischen der Basis und dem Objekt ein Querkräfte aufnehmender Stab angeordnet ist, bei dem ein Ende des Stabes mit einem Ende einer mit ihrem anderen Ende an der Basis oder an dem getragenen Objekt nicht gelenkig befestigten vorgespannten Zugfeder nicht gelenkig fest verbunden ist und dessen anderes Ende sich mit einem Zapfen in einem an dem gegenüber sich befindlichen Objekt beziehungsweise an der Basis befestigten in um zwei Achsen schwenkbaren Lager axial verschiebbar abstützt, wodurch die Lage von Objekt und Basis relativ zueinander fixiert wird und eine relative Verschiebbarkeit zwischen Basis und Objekt erst entsteht, wenn eine an dem Zapfen wirkende Querkraft eine durch die Vorspannung der Zugfeder vorbestimmte Größe übersteigt.**

**8. Vorrichtung zur Zentrierung von nach Anspruch 1 und 2 auf virtuellen Pendeln beweglich gestützten Gebäuden oder Objekten in eine Mittellage dadurch gekennzeichnet, daß unter dem getragenen Objekt zwischen der Basis und Objekt ein Querkräfte aufnehmender Stab angeordnet ist, bei dem ein Ende des Stabes mit einem an der Basis oder an dem getragenen Objekt festverbundenem Federblock aus elastomerem Werkstoff fest verbunden ist und dessen anderes Ende mit einem Zapfen in einem an dem gegenüber sich befindlichen Objekt beziehungsweise an der Basis befestigten in zwei Achsen schwenkbaren Lager axial verschiebbar abstützt, wodurch die Lage von Objekt und Basis relativ zueinander elastisch fixiert wird.**

**9. Vorrichtung zur Zentrierung von nach Anspruch 1 und 2 auf virtuellen Pendeln beweglich gestützten Gebäuden oder Objekten in eine Mittellage und zur Aufnahme von Windkräften dadurch gekennzeichnet, daß unter dem getragenen Objekt eine oder**

mehrere Vorrichtungen befestigt sind, womit jeweils eine in allen Richtungen drehbar gelagerte in einer vertikalen Achse geführte Kugel mit einer vorbestimmten Kraft einer mechanischen oder hydro-pneumatischen Feder nach unten in das Zentrum eines mit der Basis fest verbundenen Trichters gedrückt wird, der einen von einem Anfangswert in seinem Zentrum nach außen bis auf 180 Grad zunehmenden Öffnungswinkel aufweist, wodurch eine formschlüssige Verbindung zwischen Objekt und Basis zustande kommt, die in der Lage ist, bis zu einem von der Federkraft und dem Öffnungswinkel im Zentrum des Trichters abhängigen Grenzwert horizontale Kräfte zu übertragen, bei dessen Überschreitung die Kugel vertikal gegen die Federkraft durch die Schräge des Trichters angehoben wird und in den Bereich des flacher werdenden Trichters rollt, wobei die horizontal übertragbare Kraft kleiner wird und außerhalb des Trichters Null wird, so daß während Relativbewegungen zwischen Objekt und Basis bei Schwingungen der Basis durch Erdbeben nur geringe oder abhängig von der Schwingweite der Basis nahezu keine horizontalen Kräfte von der Basis auf das Objekt übertragen werden, weil während des Schwingens der Basis die Kugel nicht wieder durch die Federkraft in das Zentrum des Trichters während des Schwingens durch die Mittellage eintauchen kann, weil die die Kugel tragende und führende Aufnahme bei der vertikalen Zurückfederung durch die Federkraft in der Bewegungsgeschwindigkeit so weit durch hydraulische Drossel-Bremmung verlangsamt wird, daß die Verweilzeit der Kugel über dem Steilbereich des Trichters während des Schwingens nicht ausreicht, entsprechend tief in den Steilbereich des Trichter einzutauchen und somit erst nach Beendigung des Schwingens wieder eine formschlüssige zentrierende und horizontale Windkraft übertragende Verbindung zwischen Basis und getragenen Objekt zustande kommt.

10. Vorrichtung zur Zentrierung von nach Anspruch 1 und 2 auf virtuellen Pendeln beweglich gestützten Gebäuden oder Objekten in eine Mittellage und zur Aufnahme von Windkräften dadurch gekennzeichnet, daß zwischen senkrechten Wänden der Basis und auf gleicher Höhe liegenden Punkten des getragenen Objekts rings um das in eine Mulde in der Basis hineinragende Objekt herum verteilte mindestens 3 Paare, je ein Paar für die Bewegungs-Achsen, vertikal und zwei für horizontal, jeweils zum Objekt paarweise spiegelbildlich angeordnete mit mechanischer oder hydro-pneumatischer Feder mit flacher Federkennung in Richtung auf die Wand bis zu einem vorbestimmten Anschlag an geeigneten Führungen ausfahrbare Gleitschuhe oder Rollen oder Mehrrollen-Laufwerke mit horizontaler Laufrichtung rings um das Objekt gleichmäßig horizontale Abstände zur Basis sicherstellen und bei geringster Einfederung durch Verschieben des Objekts relativ zur Basis durch Windkraft selbsttätig, durch einfache Steuerschieber geregelt, die Federkraft erhöhen, bis volle Ausfederung in Sollstellung zentriert erreicht ist, und bei Verlagerung der Basis während Einfederns bei Erdbebenschwingungen aufgrund der flachen Federkennung die Abstützkraft gegen vorhandene Windkraft nur gering erhöhen, so daß nur eine geringe Differenzkraft als Beschleunigungskraft mit Wirkung auf die Objektmasse in Erscheinung tritt.

5       **11. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß sie kombiniert ist mit einer Vorrichtung zur Zentrierung und Windkraftabstützung, die im wesentlichen der Vorrichtung nach Anspruch 7 entspricht mit der Abwandlung, daß diese Vorrichtung mit einem seiner beiden Enden nicht direkt am getragenen Objekt, sondern an der Vorrichtung nach Anspruch 6 befestigt ist.**

10       **12. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das untere Ende des Koppelglieds mit der Basis durch einen Federblock aus elastomerem Material verbunden ist.**

15       **13. Vorrichtung zur Bereitstellung von Hydraulik-Energie für ein Erdbebensicherungs-System dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung zwischen schwingender Basis und dem von der Basisbewegung durch Stützung auf virtuellen Pendeln entkoppelten Objekts dazu benutzt wird, eine oder mehrere Pumpen anzutreiben, die für sich einzeln oder in Kombination mit Zentrier- und Windkraft-Abstützelementen, die mit der Relativbewegung in Verbindung stehen, angeordnet sein können, um mit der damit gewonnenen Servo-Energie Verluste in dem Energie-Speichersystem, die während der Steueraktivitäten des Systems während eines Erdbebens eintreten, ausgleichen zu können und damit von der externen Energieversorgung unabhängig zu sein, die im Erdbebenfall mit**  
20       **großer Wahrscheinlichkeit ausfallen kann.**



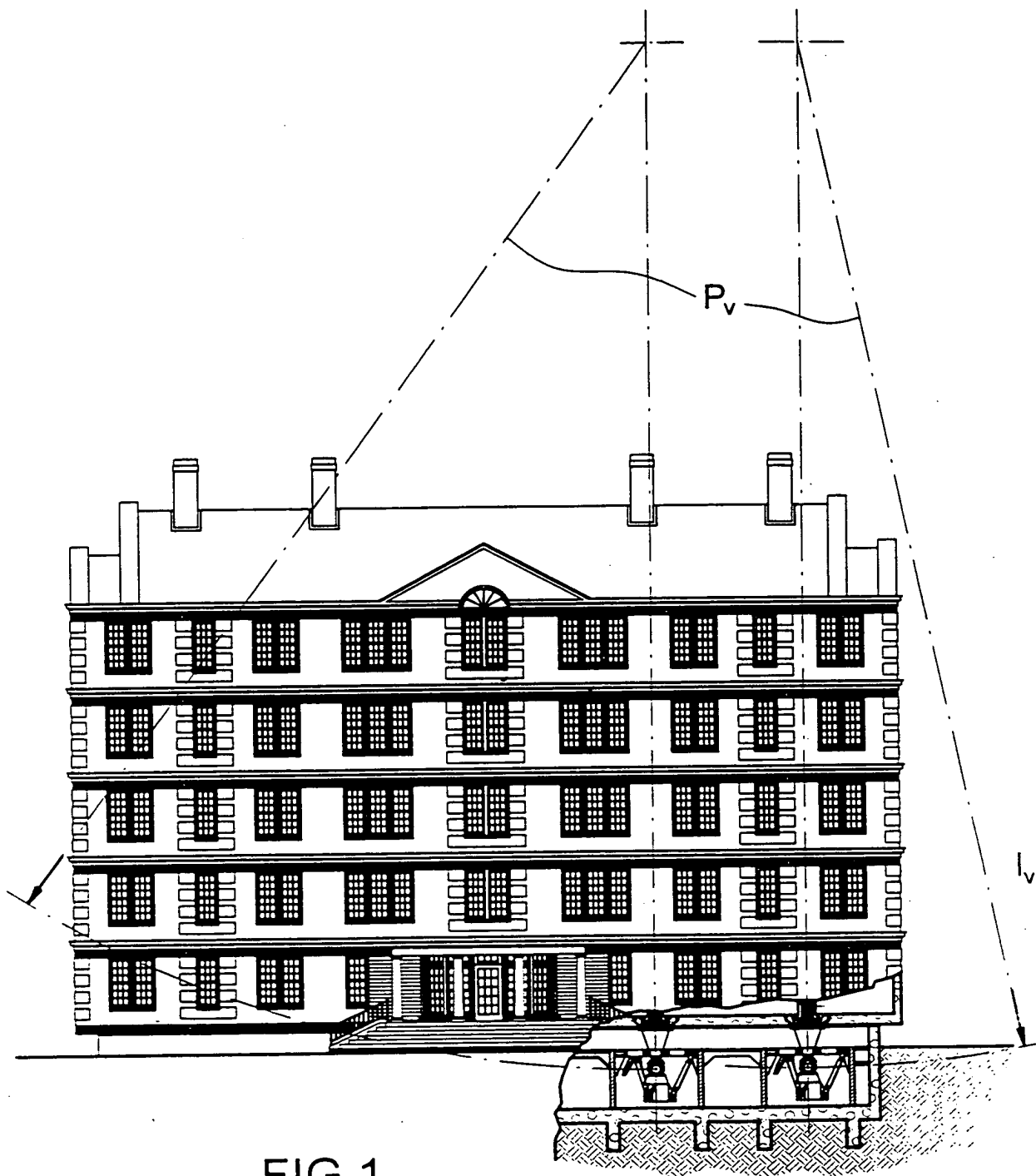
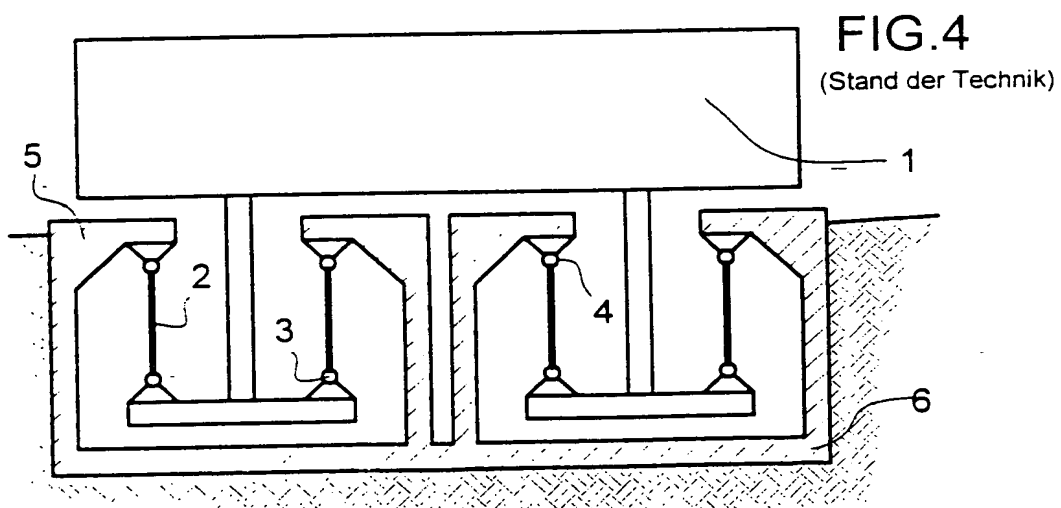
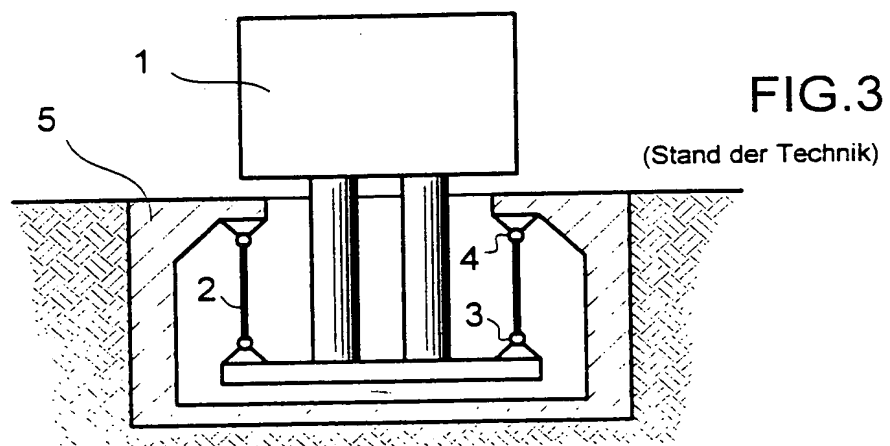
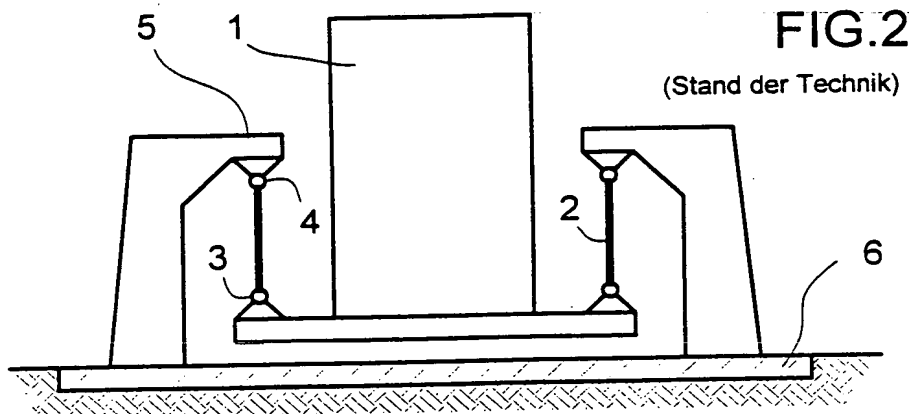


FIG. 1



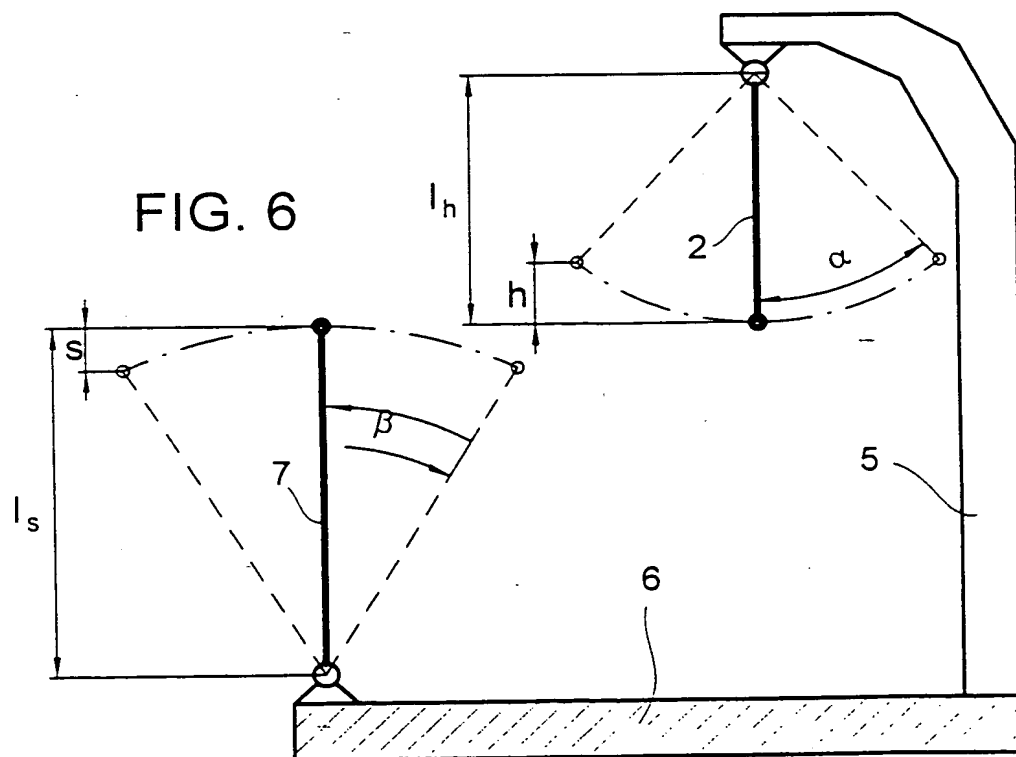
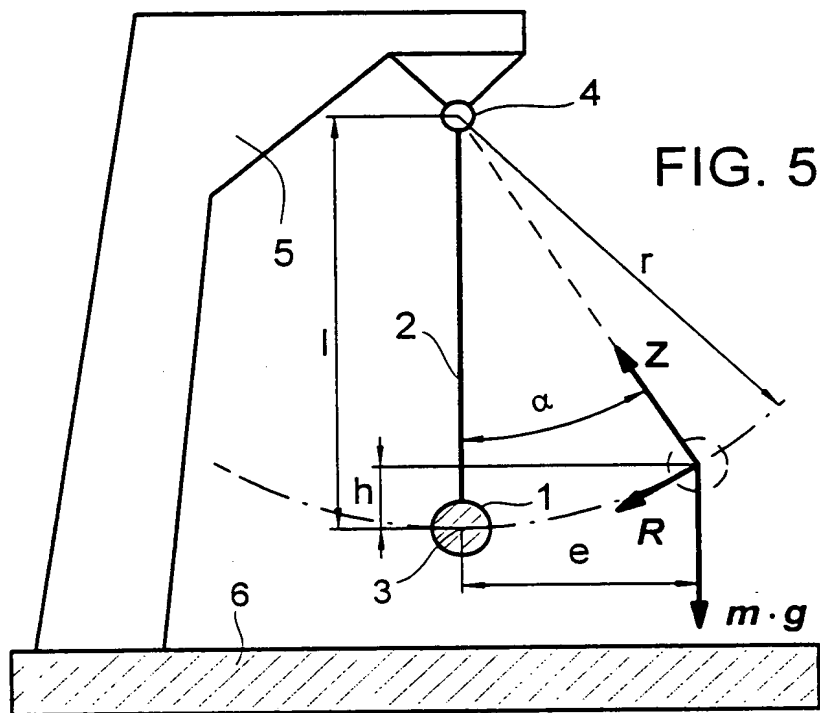
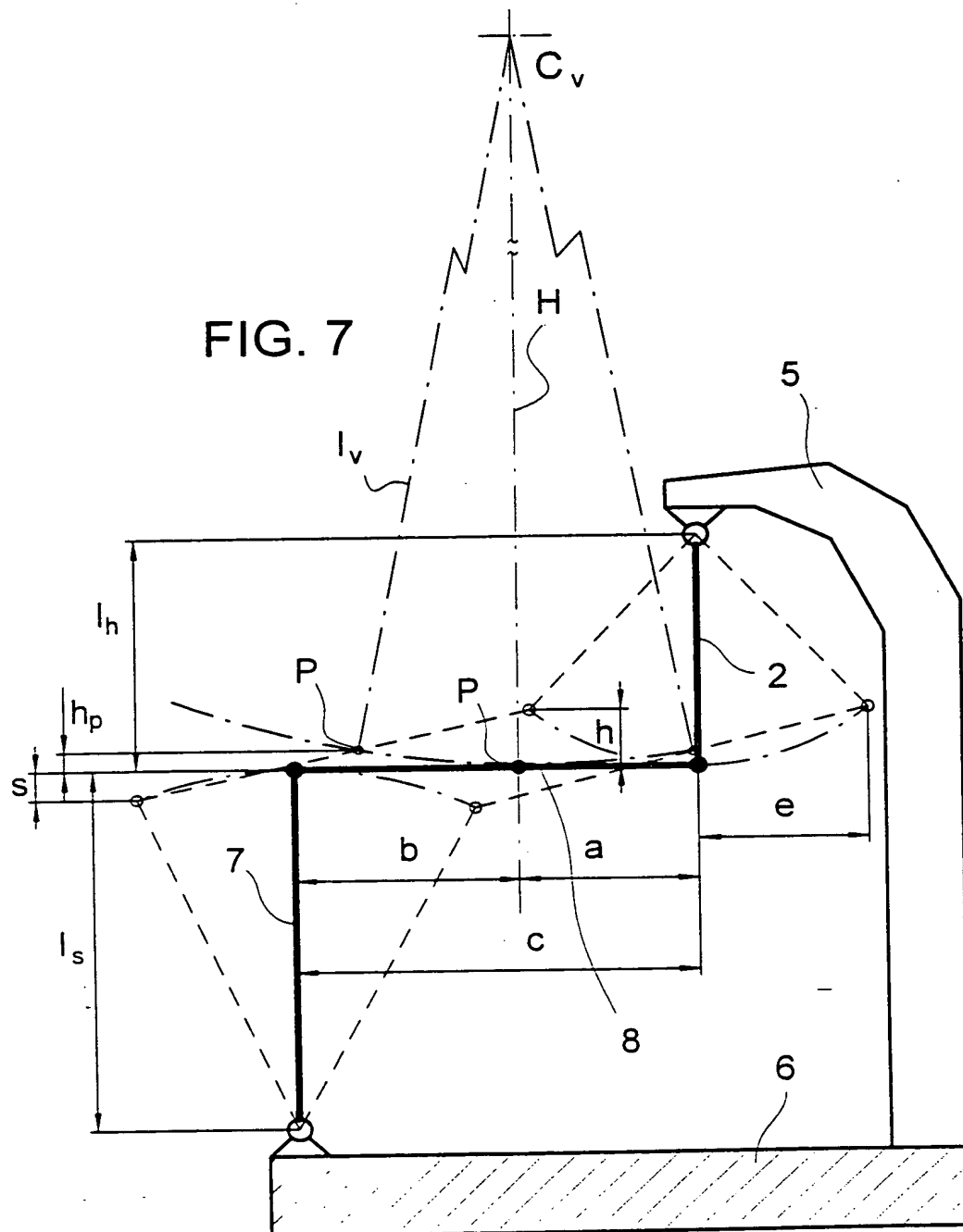


FIG. 7



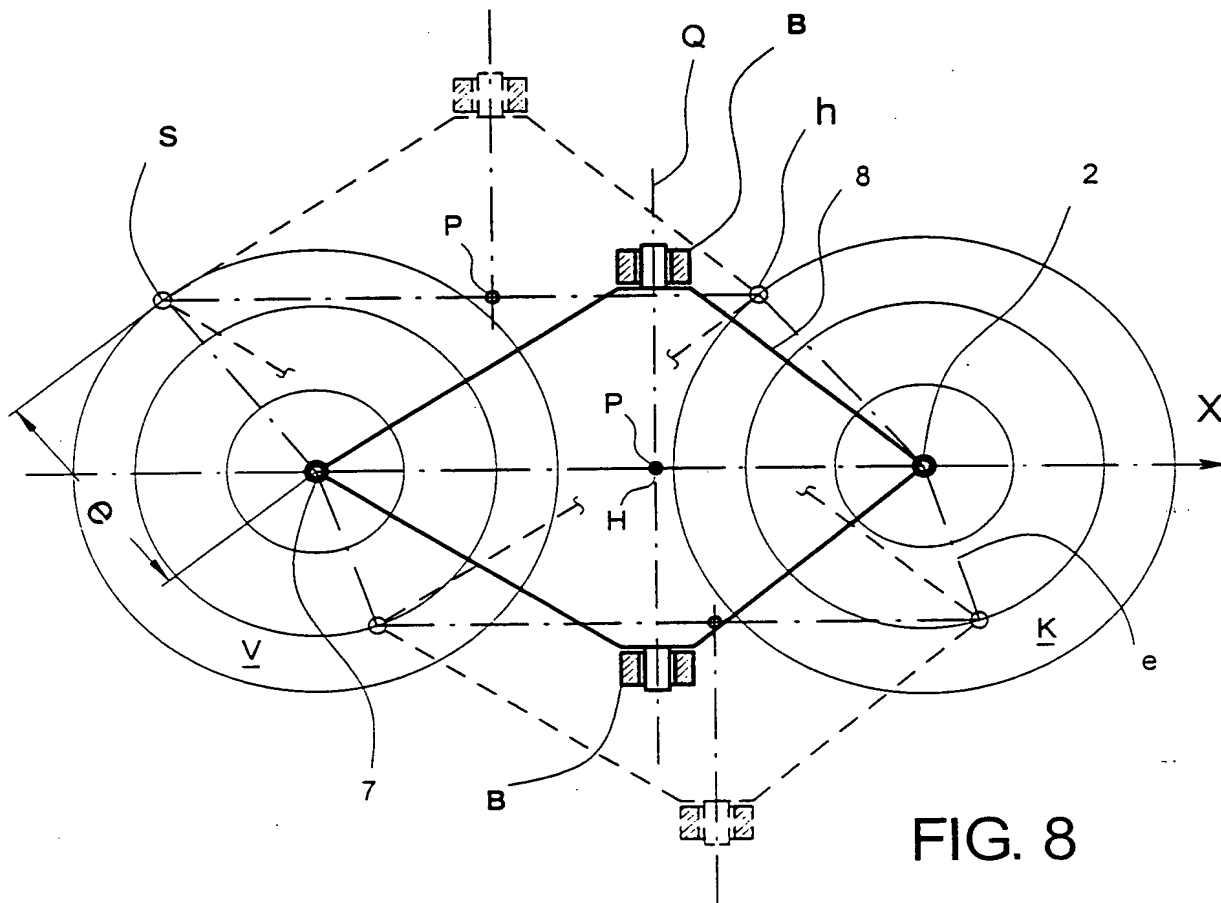
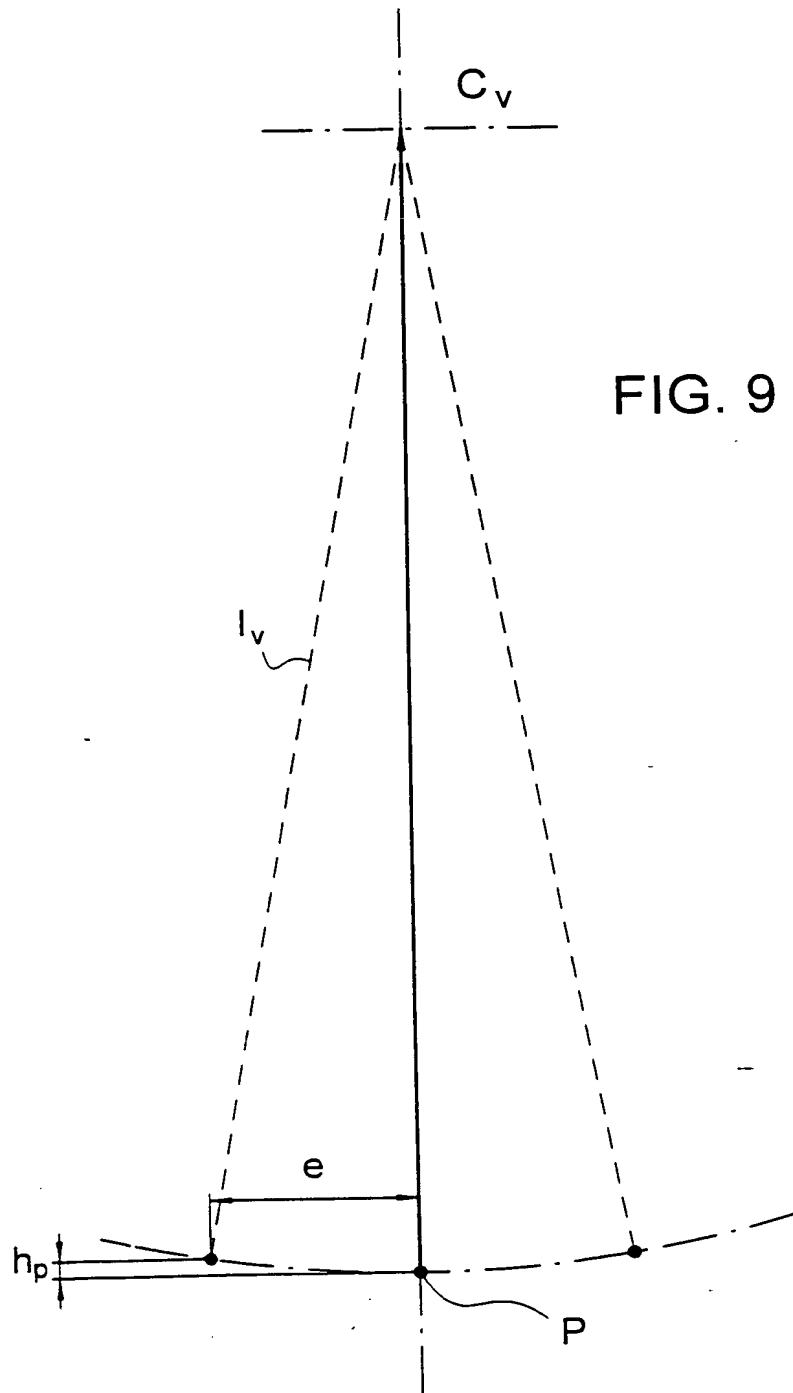


FIG. 8



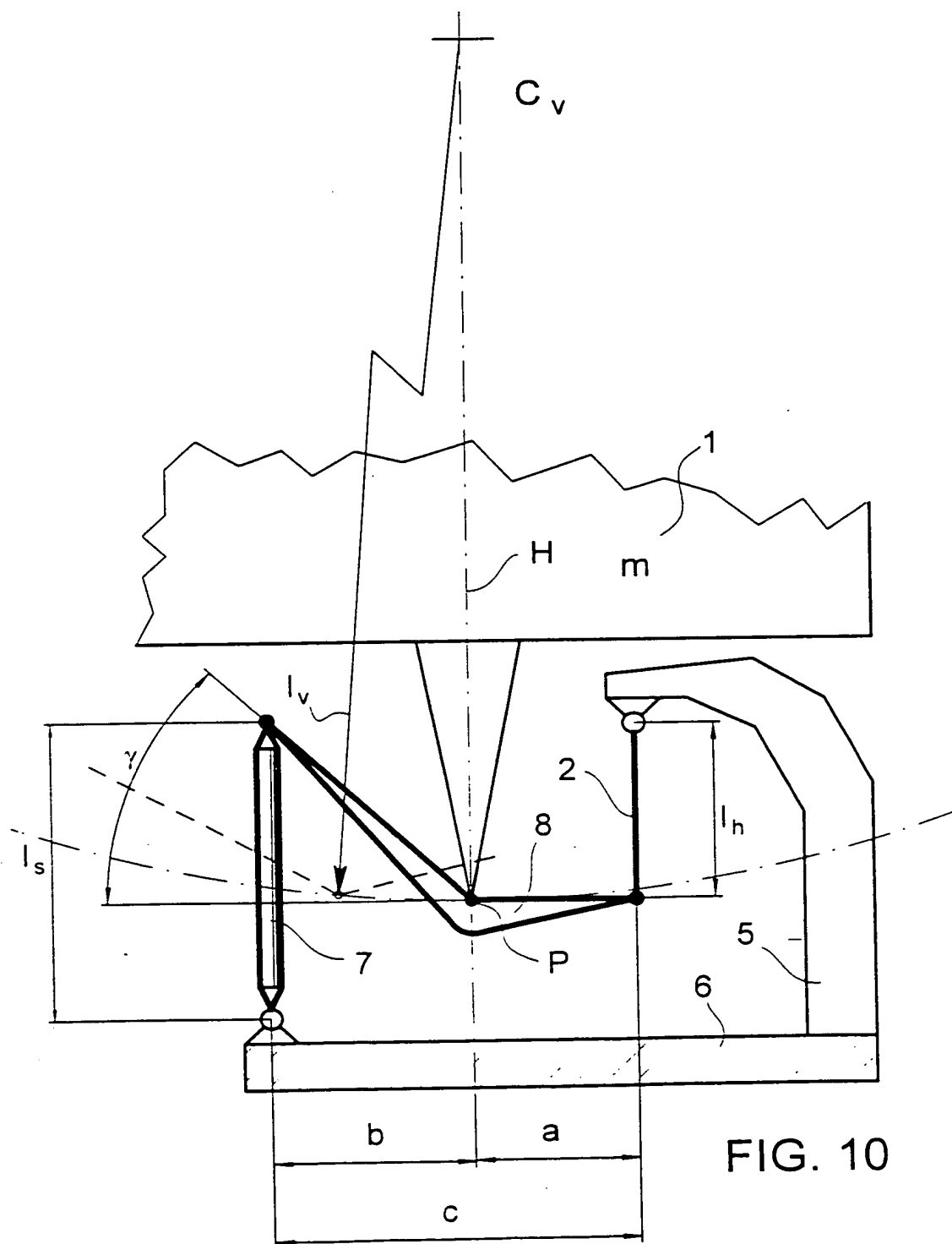


FIG. 10

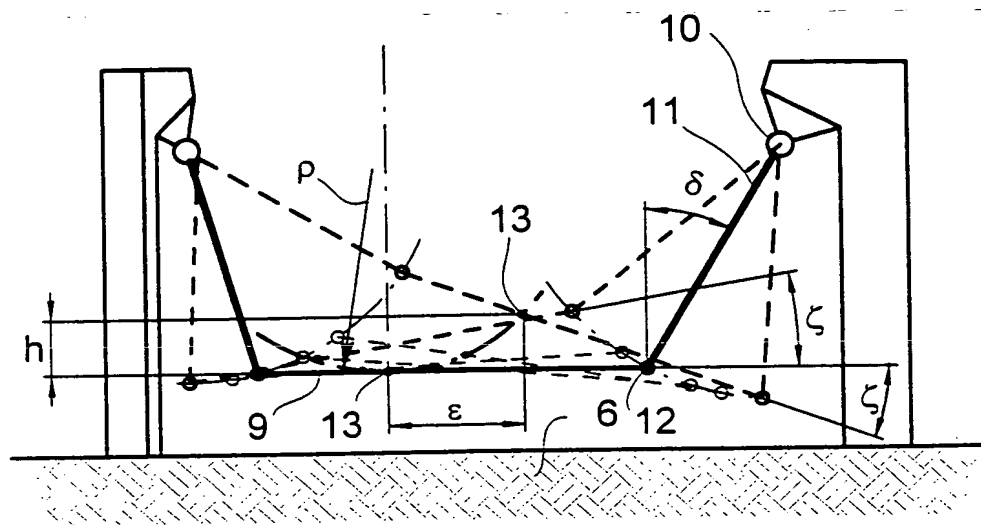


FIG. 11

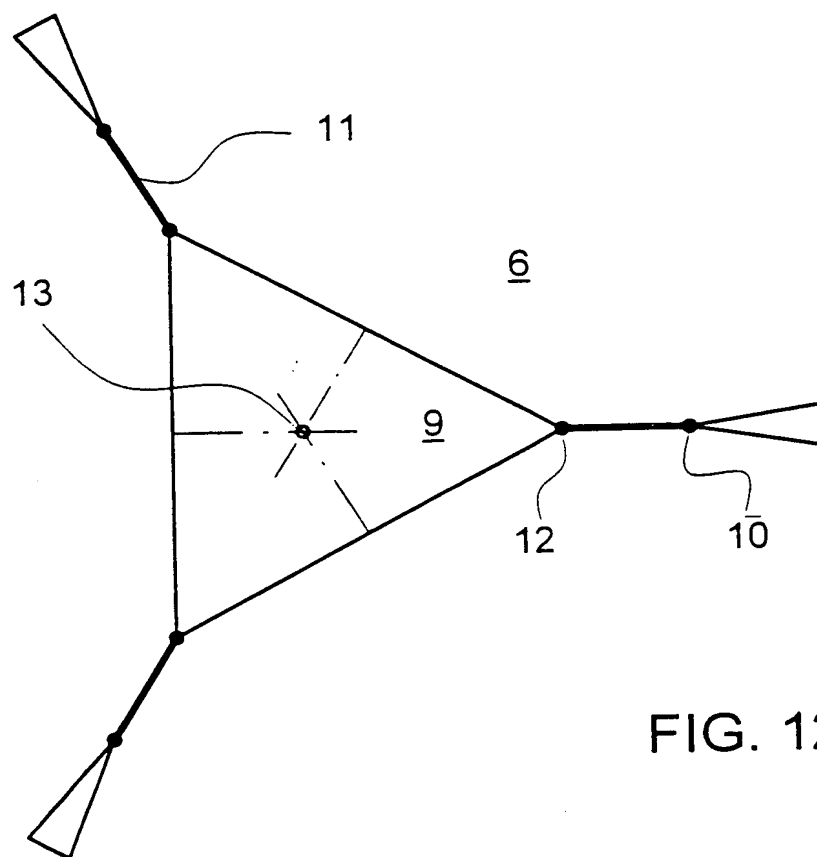
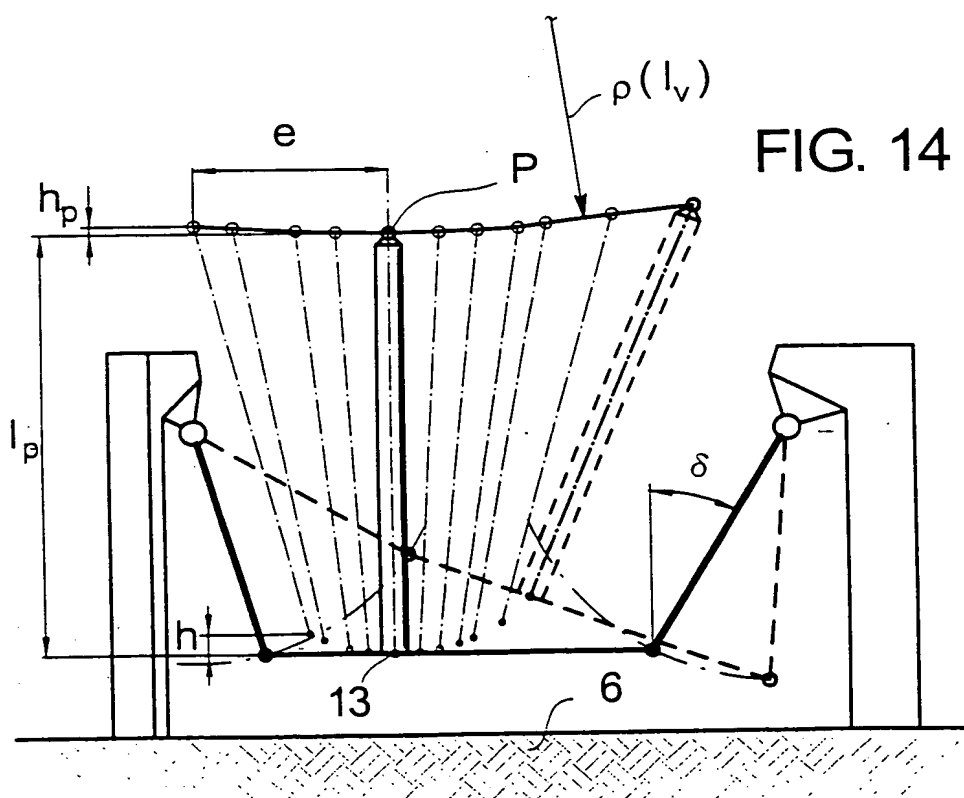
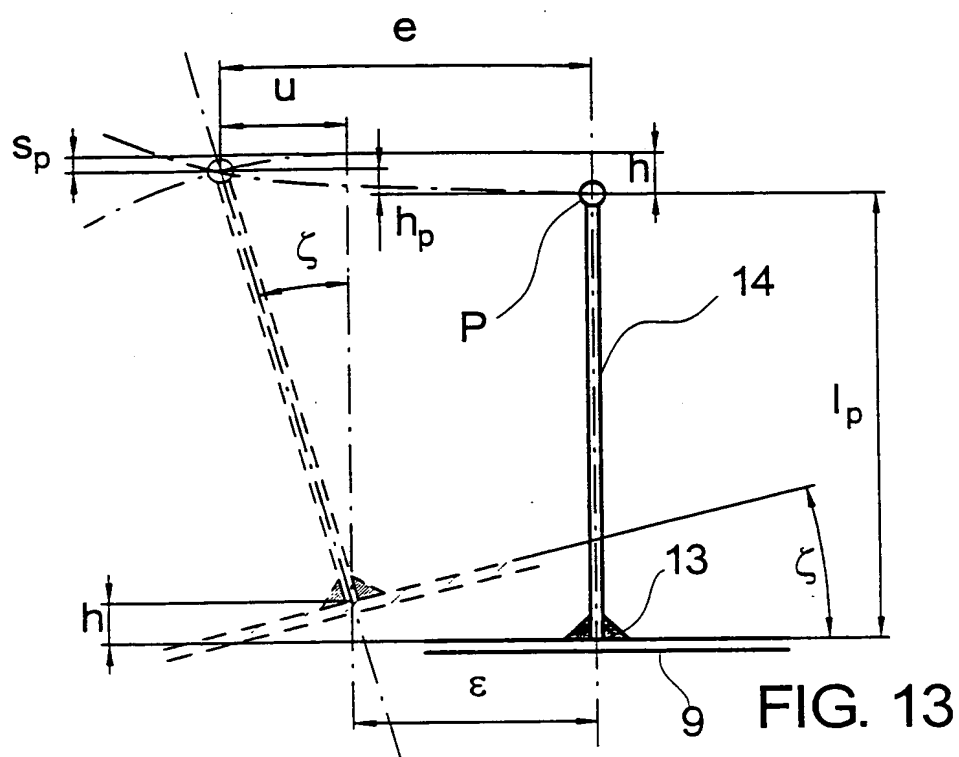


FIG. 12





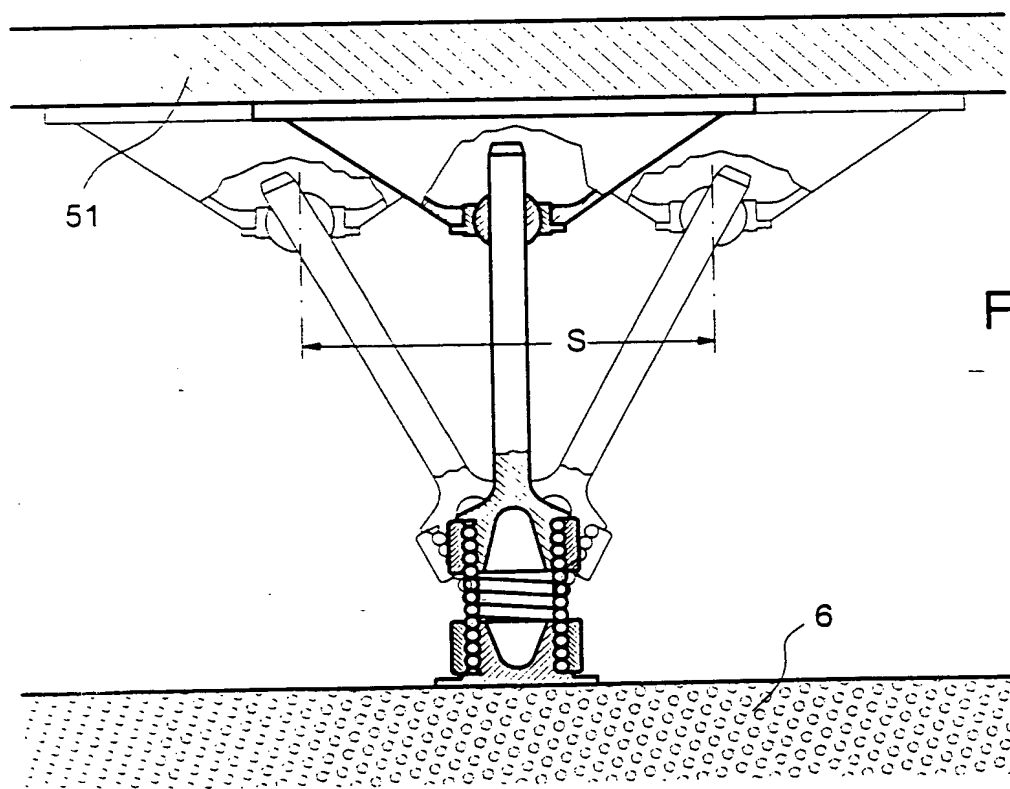
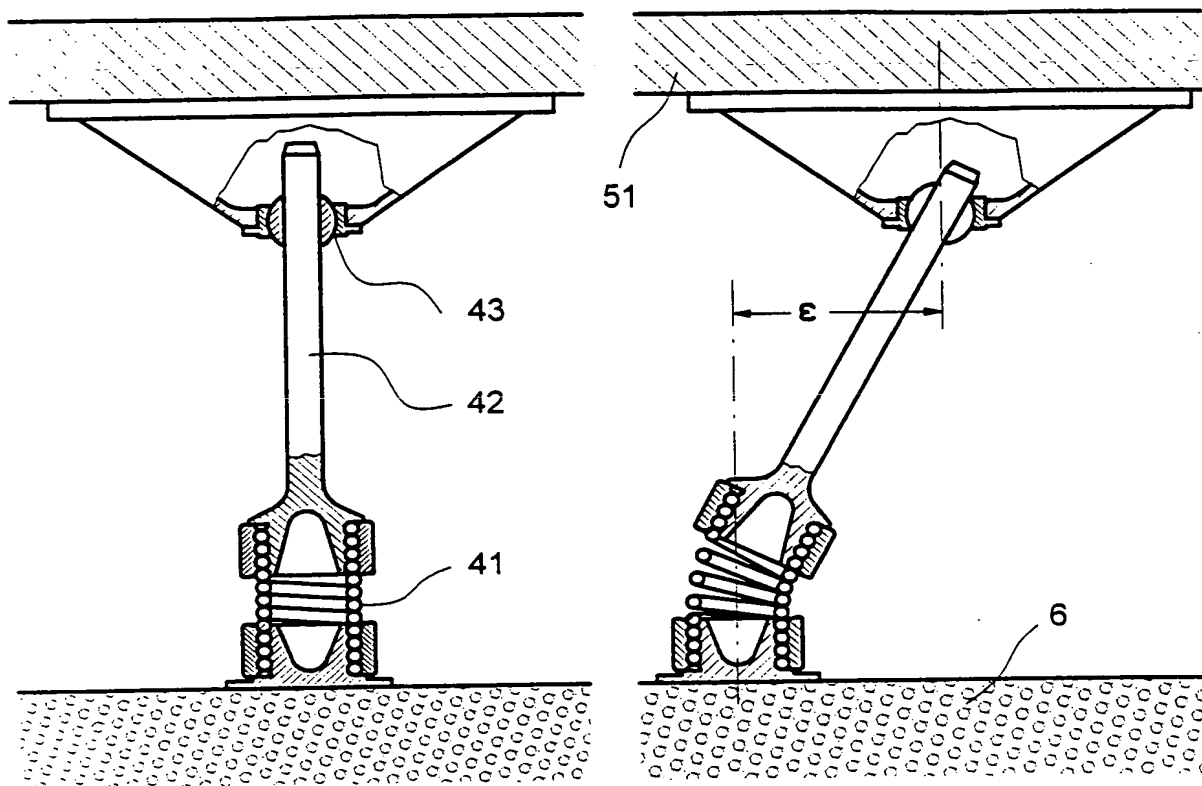


FIG. 15

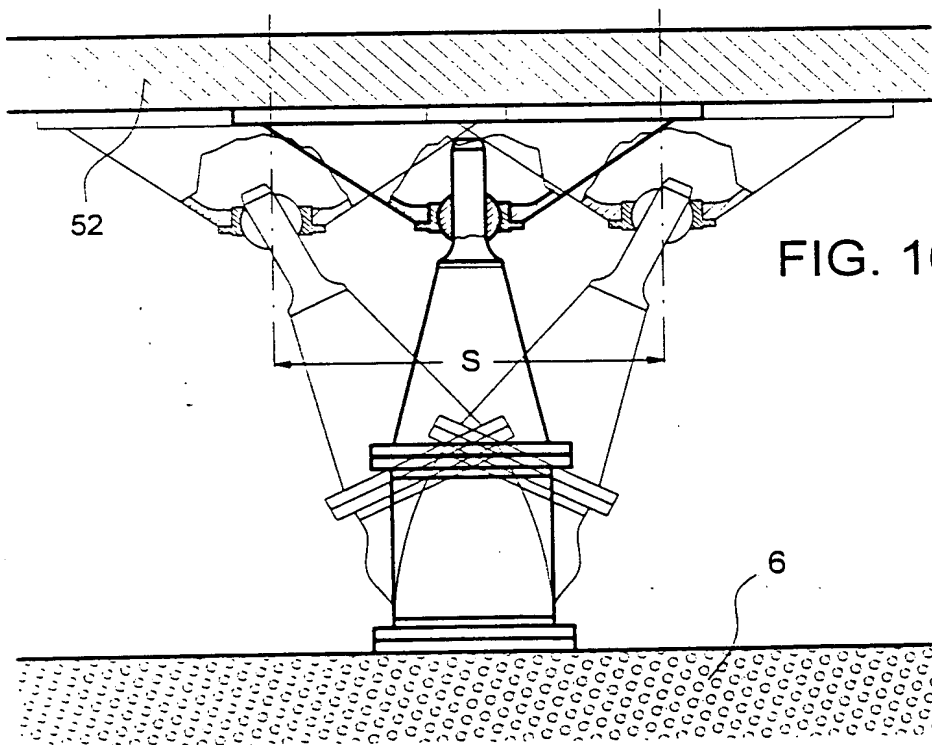
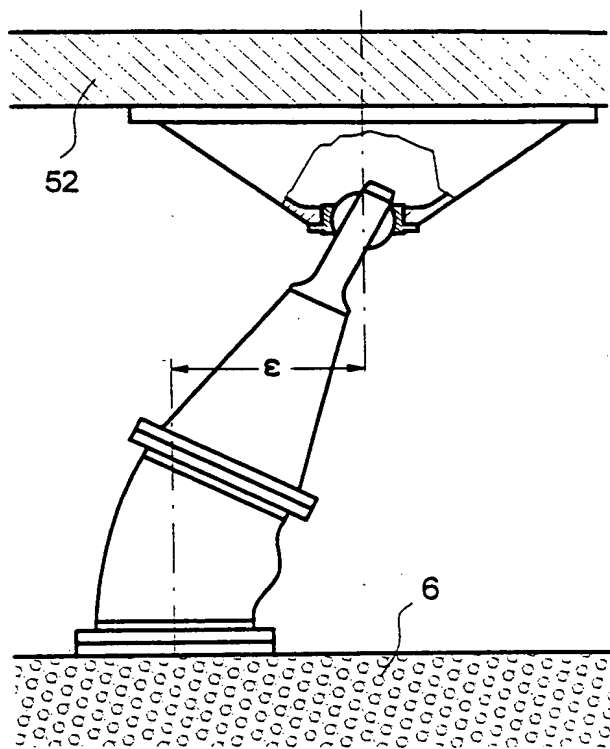
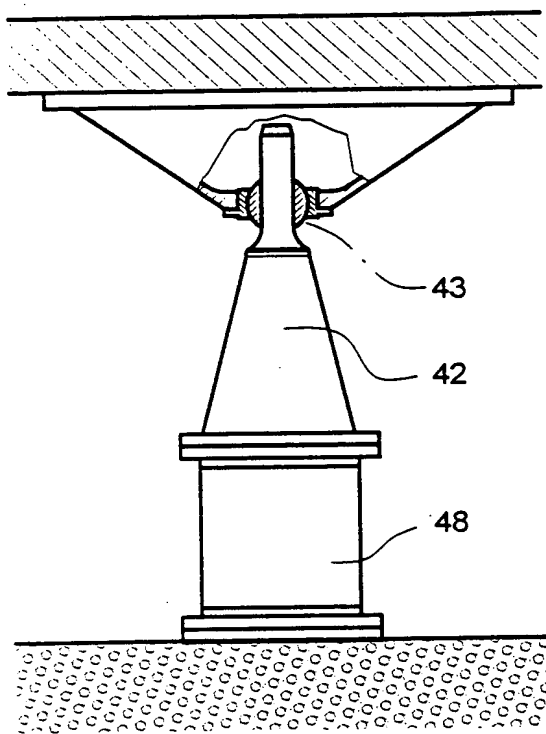


FIG. 16

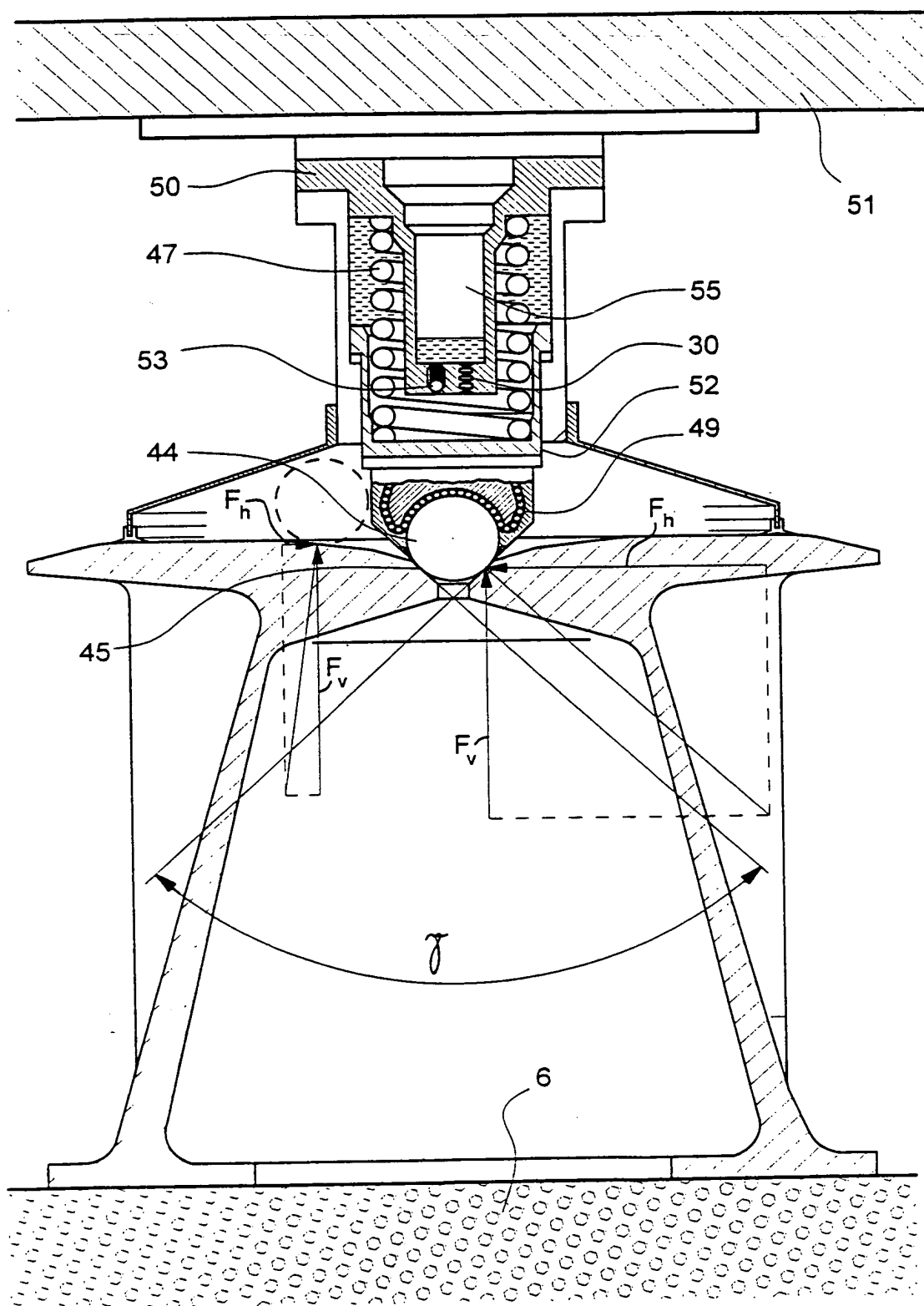


FIG.17

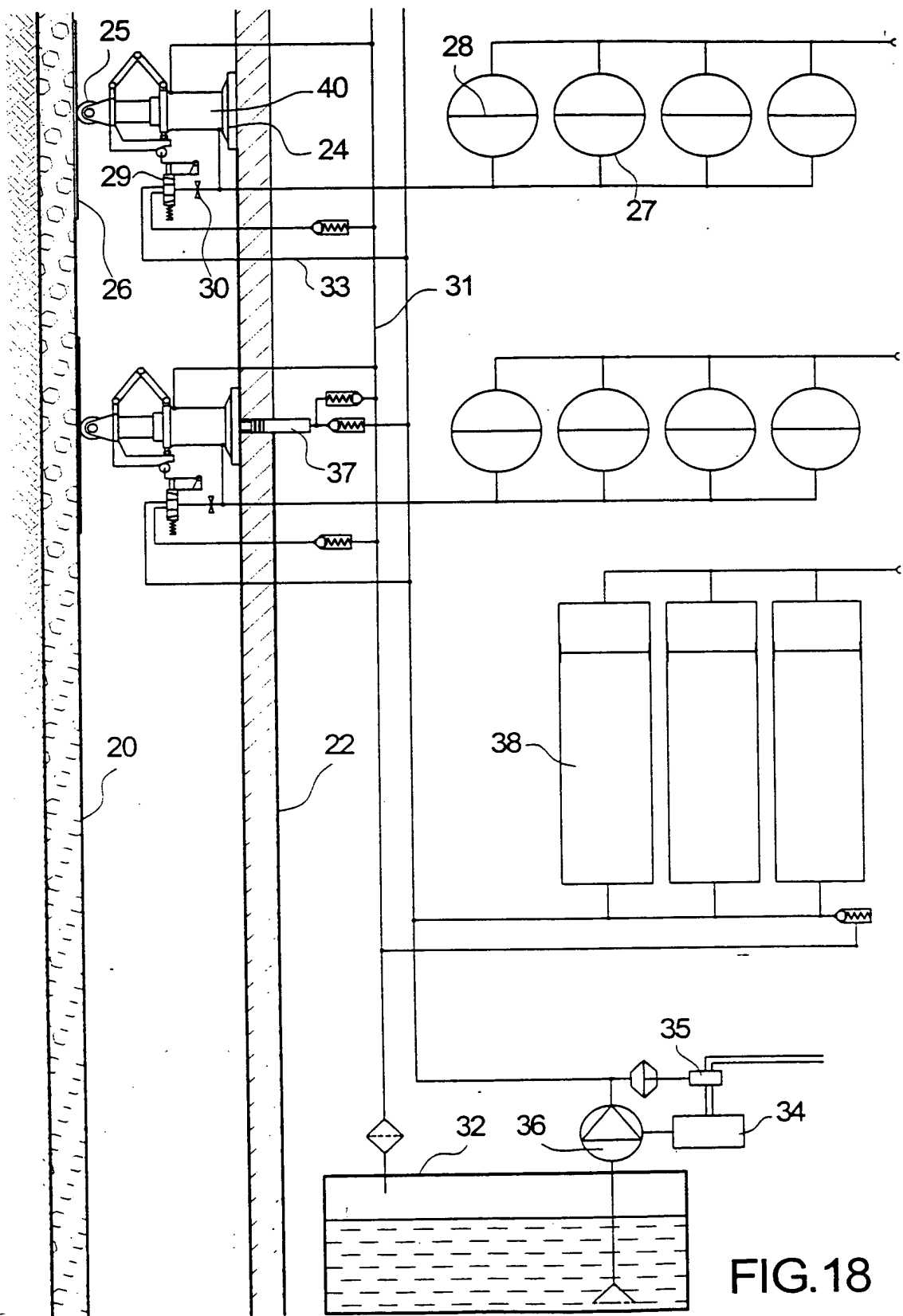


FIG.18

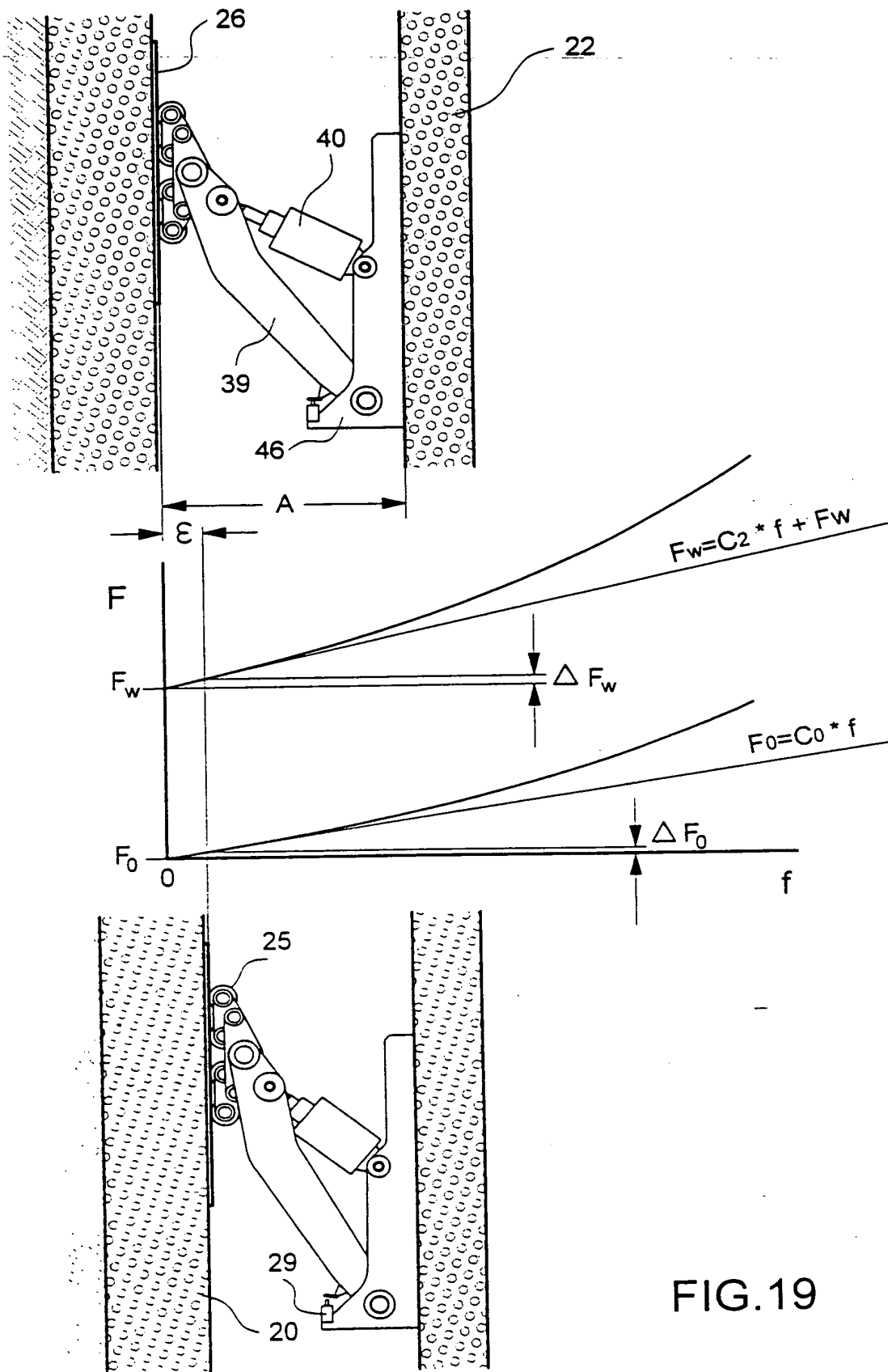


FIG.19

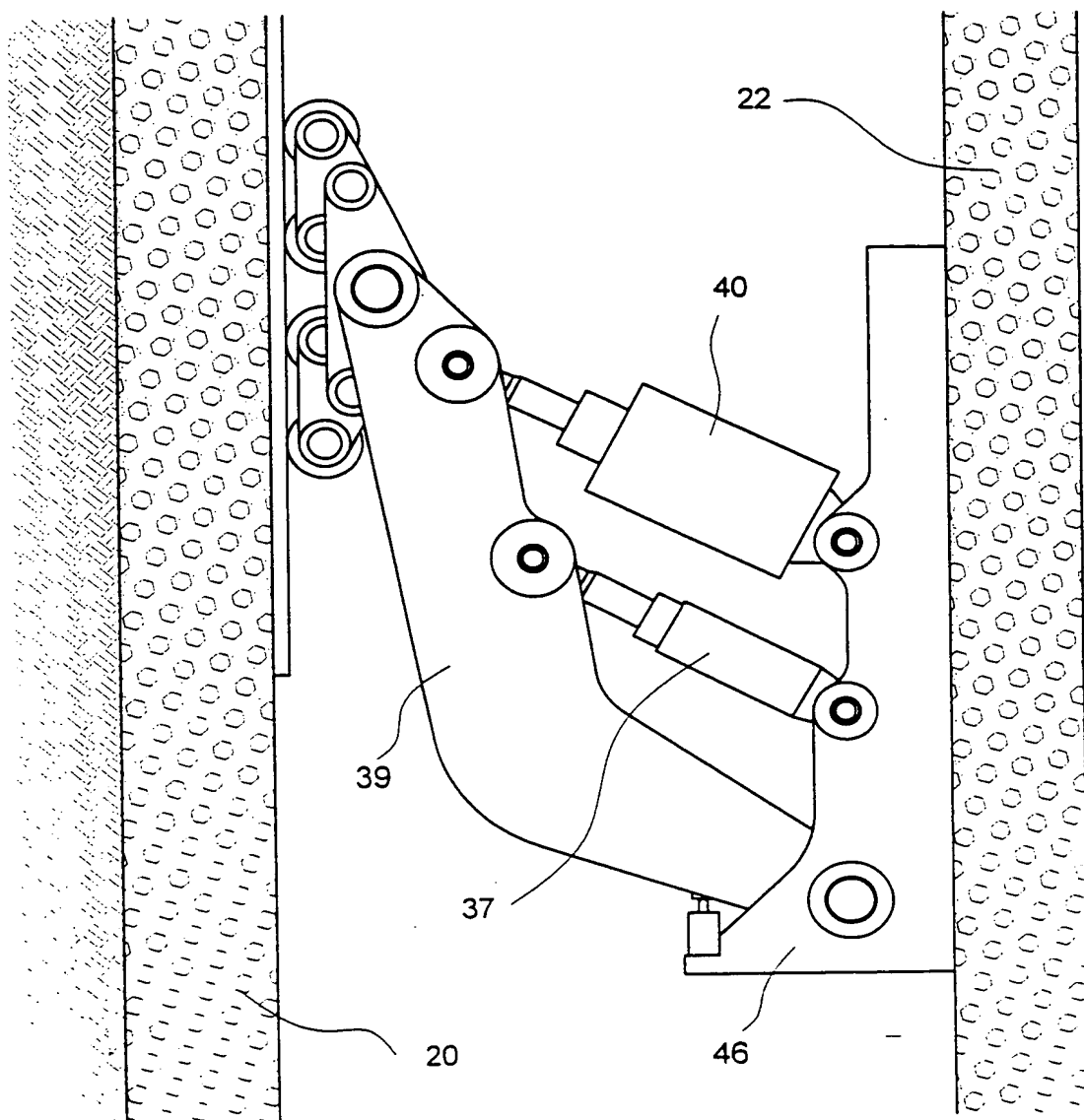


FIG.20

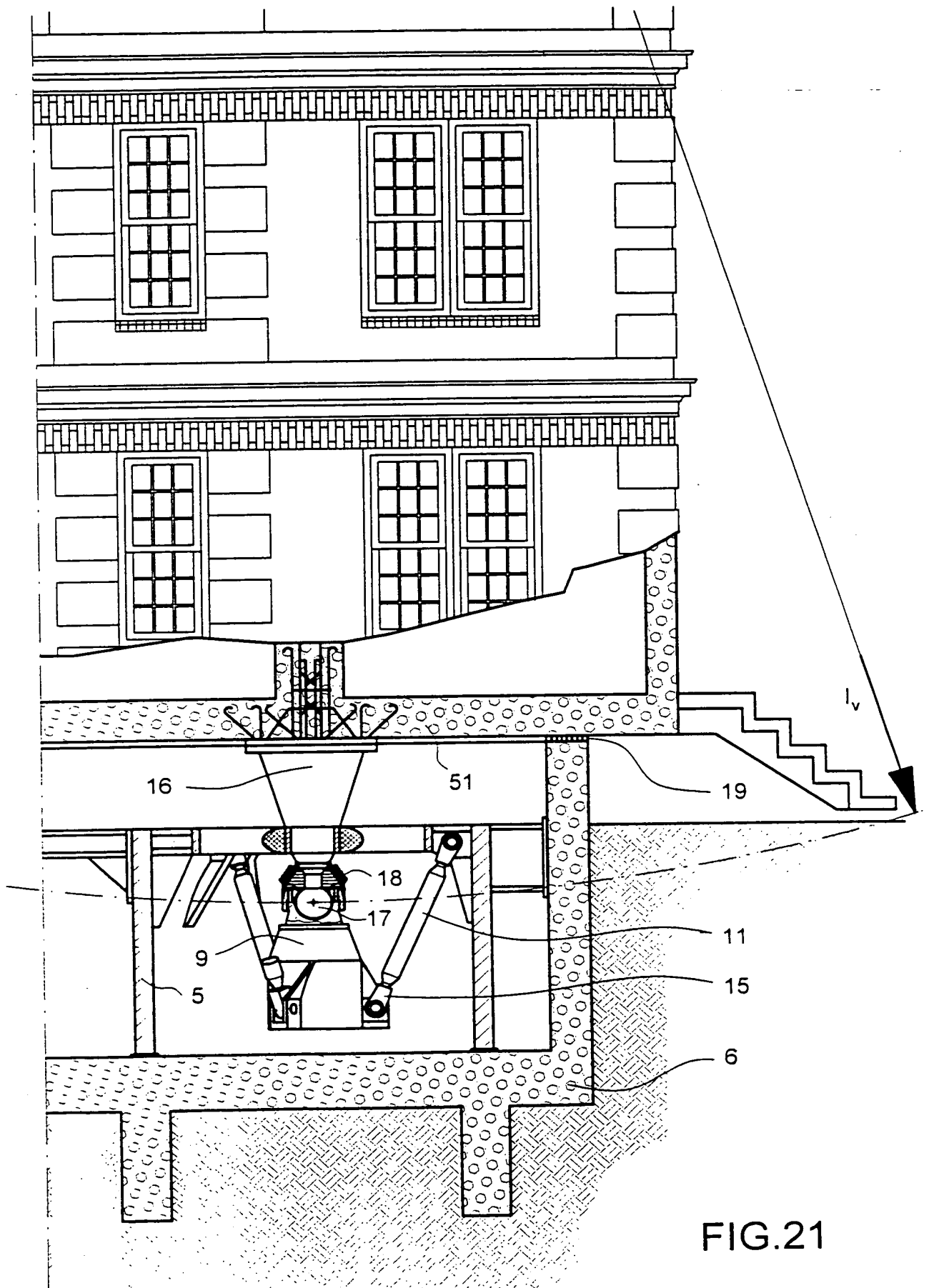


FIG.21



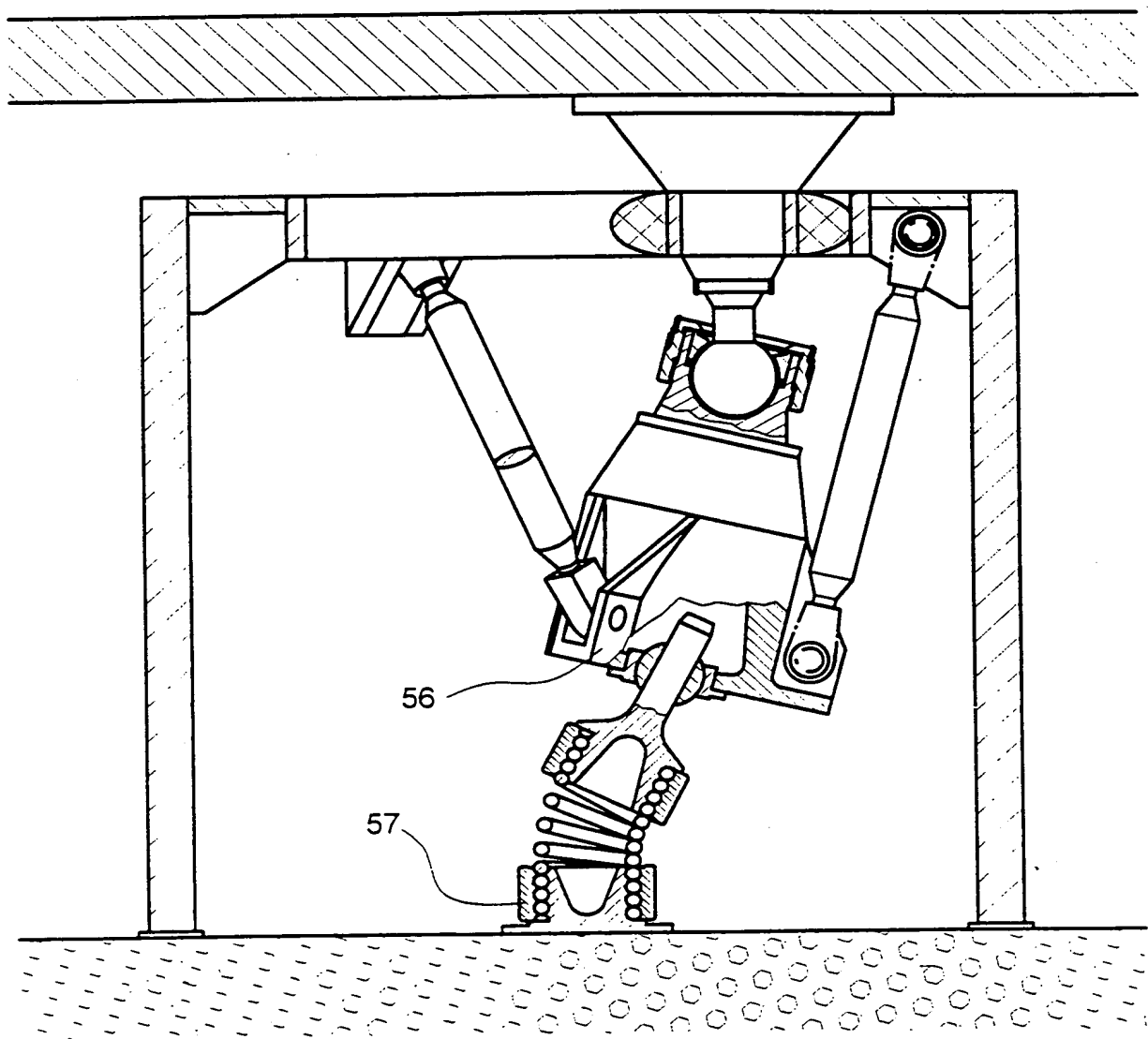


FIG.22

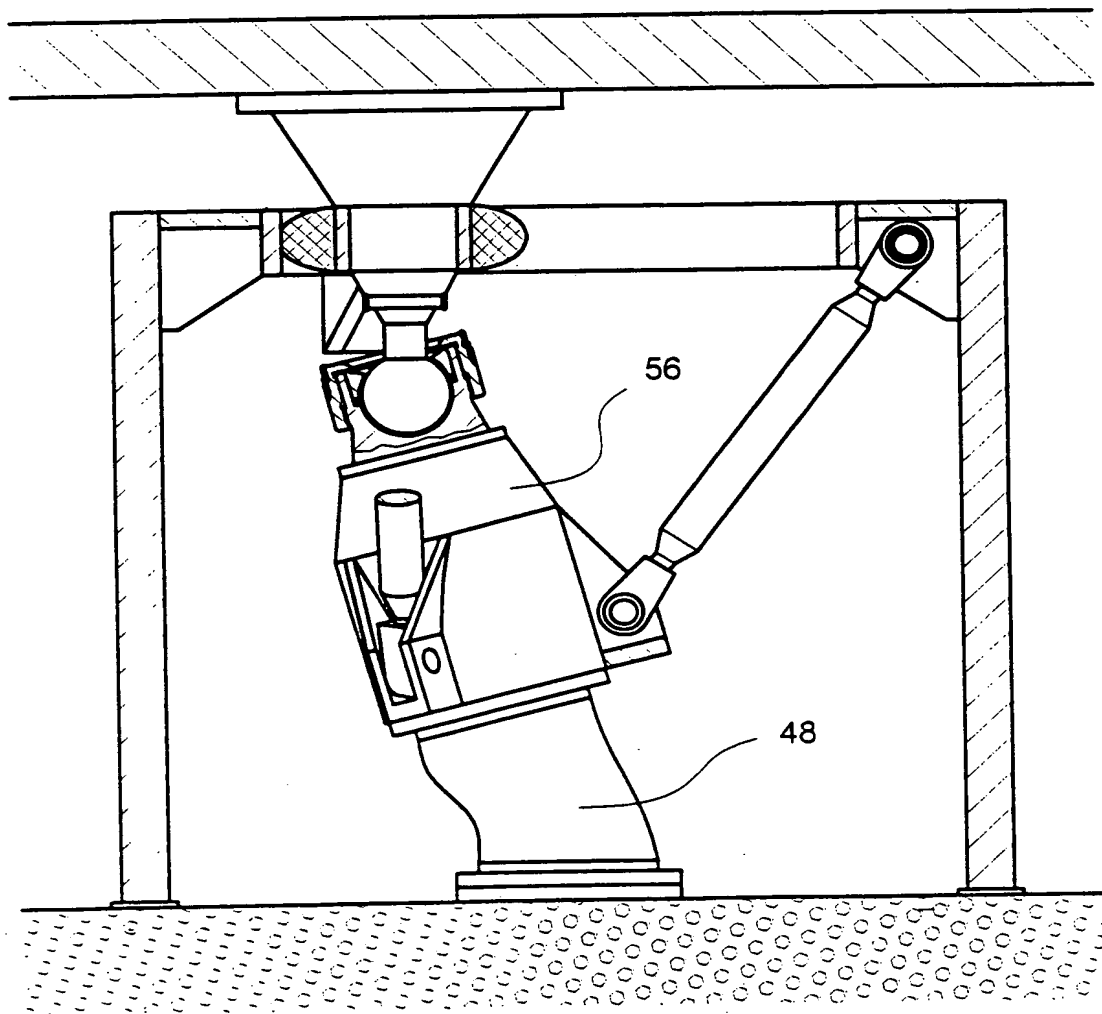


FIG.23

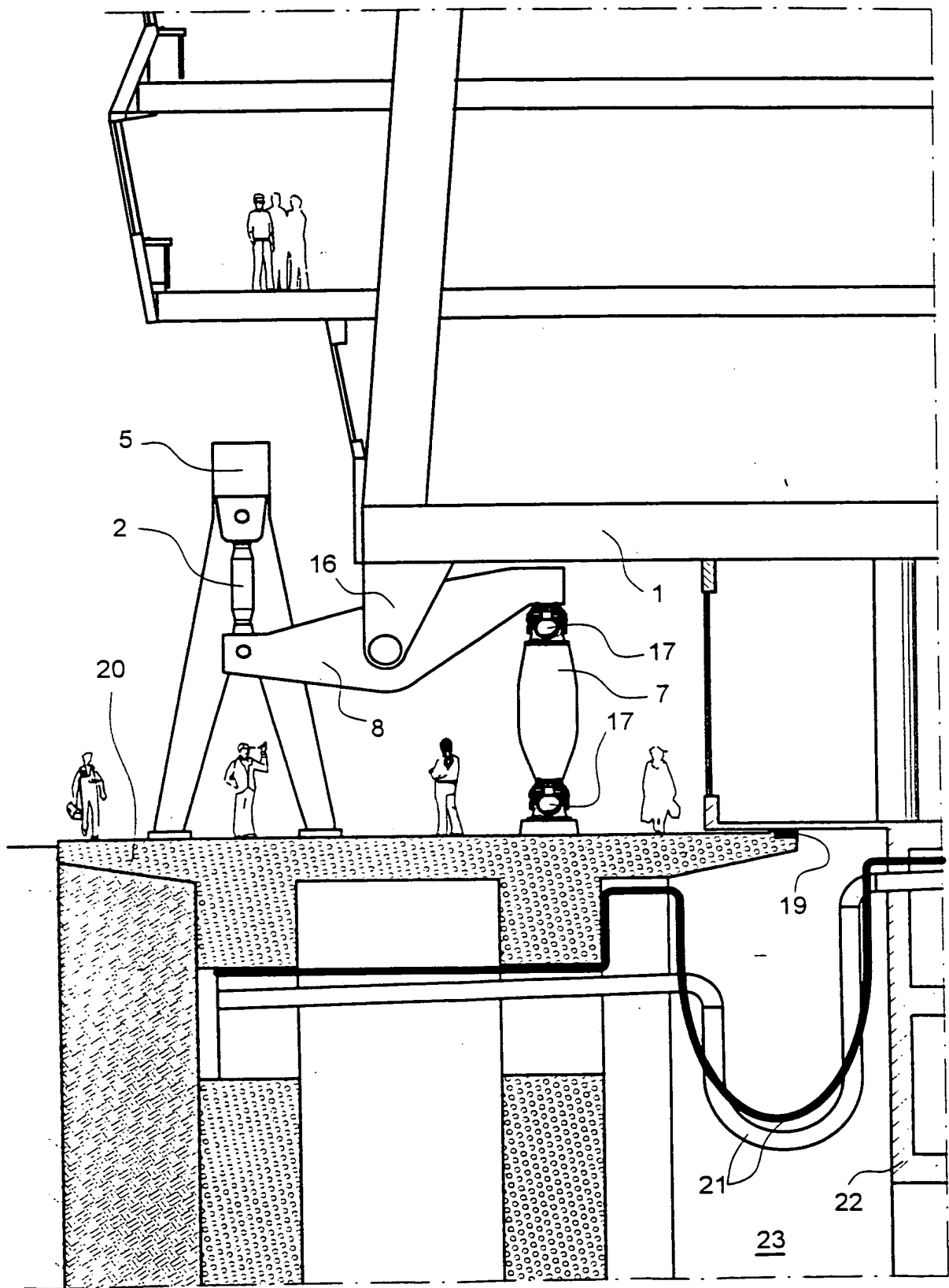


FIG.24

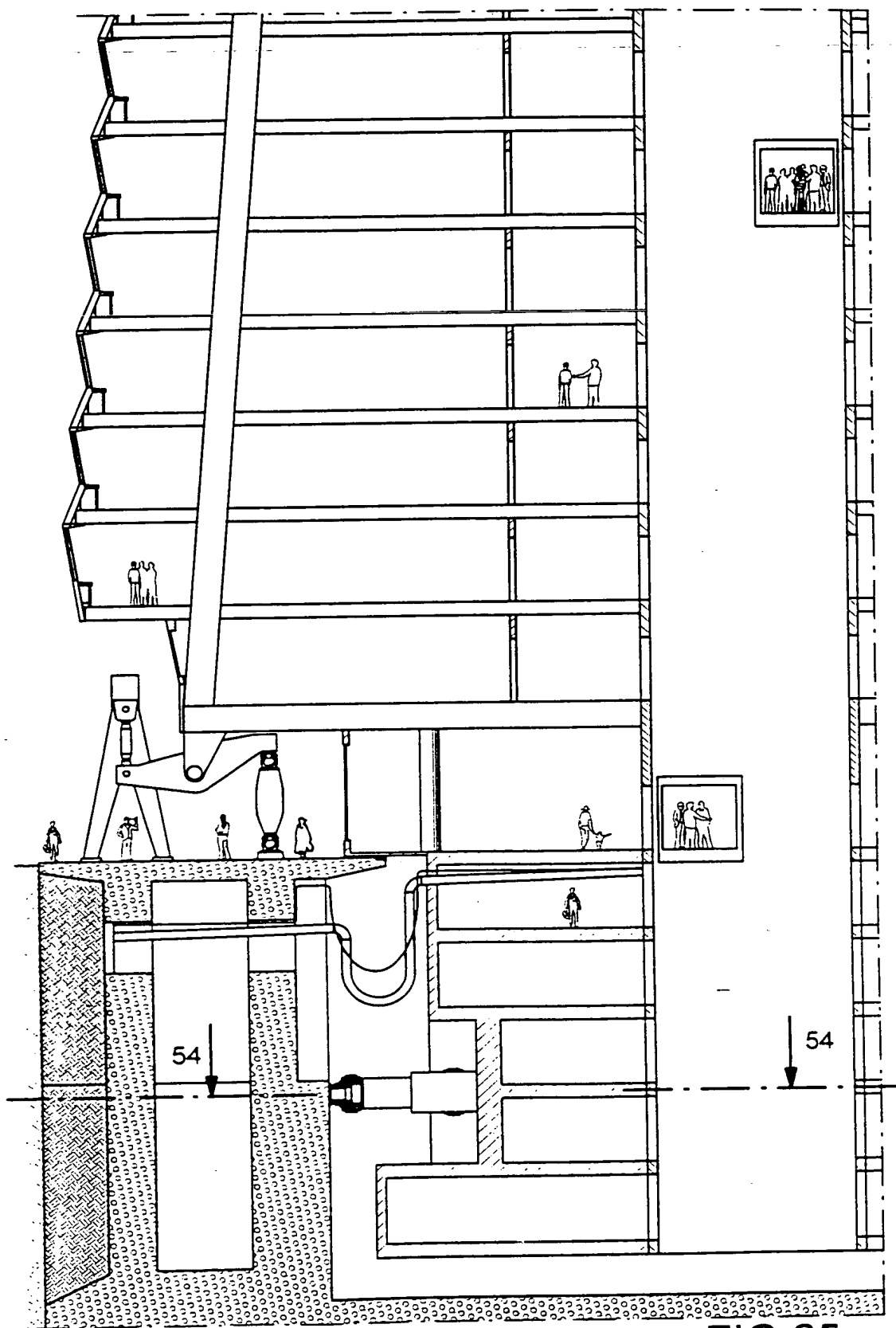


FIG.25

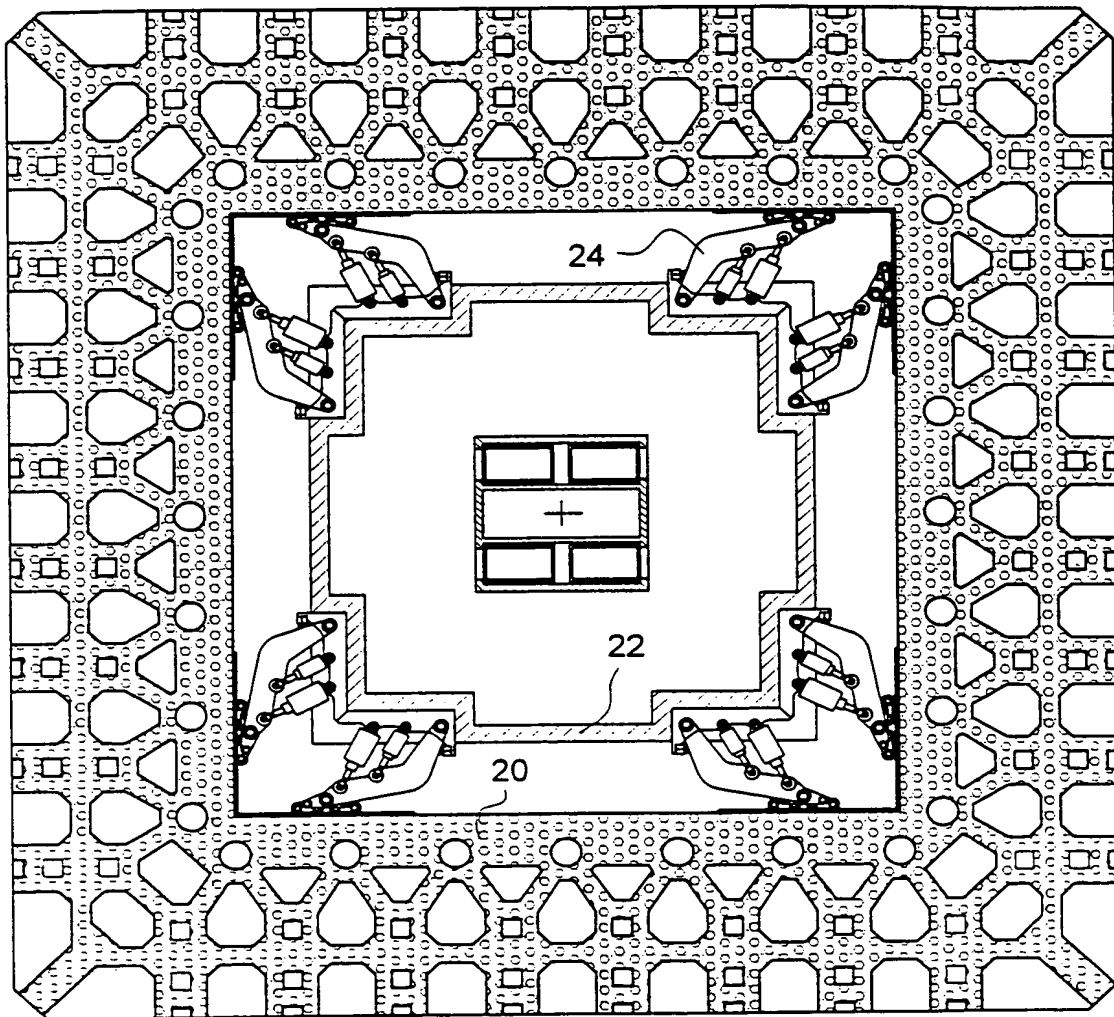


FIG.26

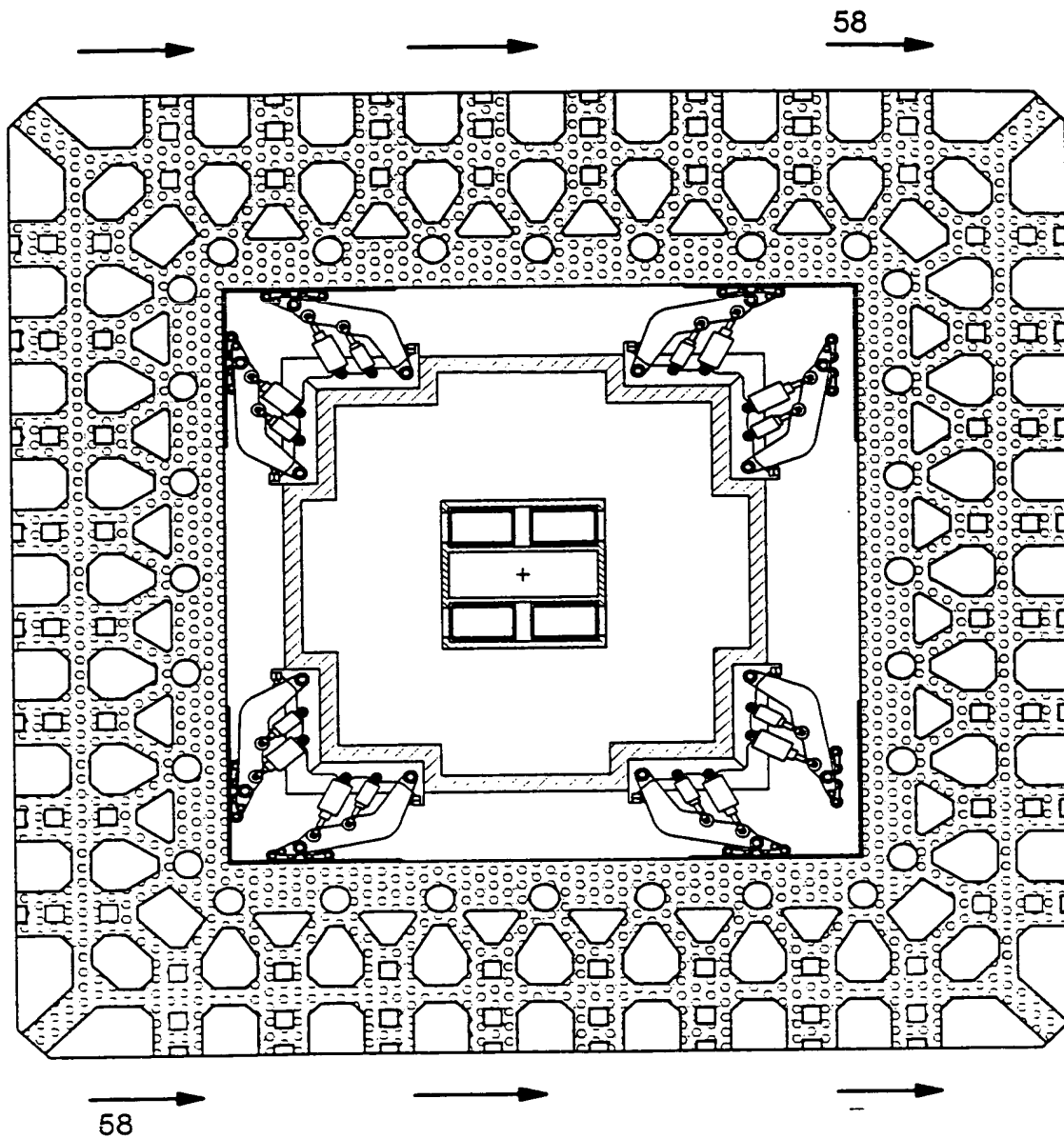


FIG.27

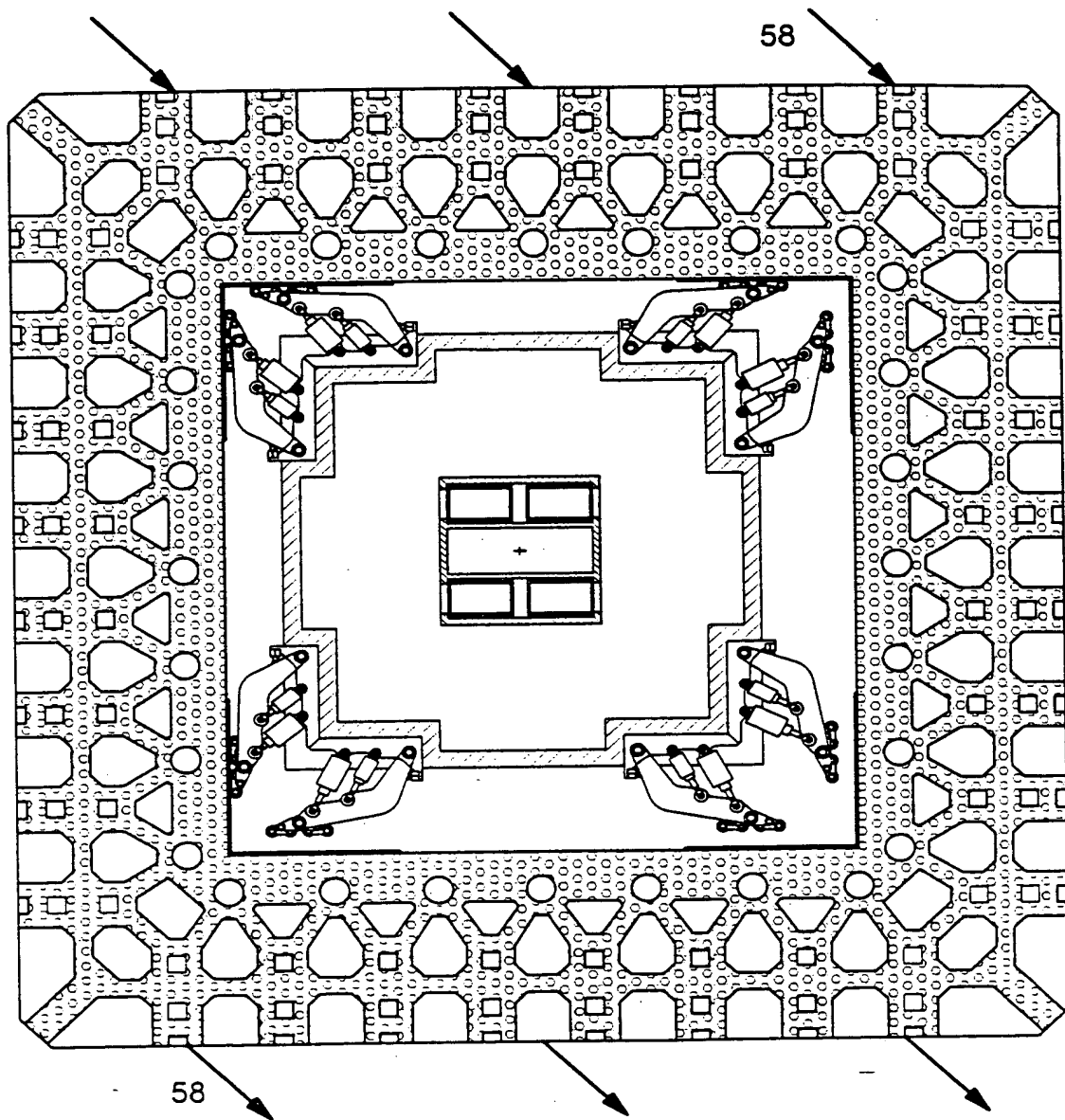


FIG.28

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**